



## ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

ΣΧΟΛΗ	ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ, ΥΠΟΔΟΜΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΟΝΤΟΣ
ΤΜΗΜΑ	ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
ΠΜΣ	ΕΠΙΣΤΗΜΕΣ & ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ	ΚΗΠΕΥΤΙΚΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ & ΑΝΘΟΚΟΜΙΑΣ

### ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

#### ΘΕΜΑ

ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΟΥ ΕΜΒΟΛΙΑΣΜΟΥ ΜΕ ΑΖΩΤΟΒΑΚΤΗΡΙΑ ΚΙ  
ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΧΟΡΗΓΟΥΜΕΝΟΥ ΑΖΩΤΟΥ ΜΕΣΩ ΤΟΥ ΘΡΕΠΤΙΚΟΥ  
ΔΙΑΛΥΜΑΤΟΣ ΣΤΗΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗ, ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΘΡΕΠΤΙΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ  
ΑΜΠΕΛΟΦΑΣΟΥΛΟΥ (*Vigna unguiculata* subsp. *unguiculata* (L.) Walp) ΣΕ  
ΥΔΡΟΠΟΝΙΚΗ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ



ΧΡΙΣΤΙΝΑ Π. ΒΡΟΝΤΑΝΗ

ΑΘΗΝΑ 2019

ΣΑΒΒΑΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ

# ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

ΣΧΟΛΗ | ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ, ΥΠΟΔΟΜΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΟΝΤΟΣ  
ΤΜΗΜΑ | ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ  
ΠΜΣ | ΕΠΙΣΤΗΜΕΣ & ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ  
ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ | ΚΗΠΕΥΤΙΚΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ & ΑΝΘΟΚΟΜΙΑΣ

ΧΡΙΣΤΙΝΑ Π. ΒΡΟΝΤΑΝΗ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

που υποβλήθηκε στο

Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών

Η επίδραση του εμβολιασμού με αζωτοβακτήρια κι επιπέδου χορηγούμενου αζώτου μέσω του θρεπτικού διαλύματος στην ανάπτυξη, παραγωγή και θρεπτική κατάσταση αμπελοφάσουλου (*Vigna unguiculata* subsp. *unguiculata* (L.) Walp σε υδροπονική καλλιέργεια

Impact of different rhizobial strains and reduced Nitrogen supply on growth, yield and nutrient uptake in Cowpea (*Vigna unguiculata* subsp. *unguiculata* (L.)) grown hydroponically

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

ΣΑΒΒΑΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ

ΤΑΜΠΑΚΑΚΗ ΑΝΑΣΤΑΣΙΑ

ΚΑΡΑΠΑΝΟΣ ΙΩΑΝΝΗΣ

ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΓΙΑ – ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ

ΕΠΙΚΟΥΡΟ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ ΓΙΑ - ΜΕΛΟΣ

ΕΠΙΚΟΥΡΟ ΚΑΘΗΓΗΤΗ ΓΙΑ - ΜΕΛΟΣ

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκε το Μάρτιο του 2016 στο Εργαστήριο Κηπευτικών Καλλιεργειών, του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών κι είχε ως αντικείμενο μελέτης την επίδραση του εμβολιασμού του ριζικού συστήματος, δυο διαφορετικών αζωτοδεσμευτικών βακτηρίων (*Bradyrhizobium* spp. - *Ensifer* spp.), καθώς και το συνδυασμό και των δυο αυτών στελεχών σε φυτά αμπελοφάσουλου (*Vigna unguiculata* subsp. *unguiculata* (L.) Walp), σε υδροπονική καλλιέργεια. Τα φυτά αναπτύχθηκαν σε σάκους περλίτη και τροφοδοτήθηκαν με διαφορετικά θρεπτικά διαλύματα αζώτου, έτσι ώστε να αξιολογηθεί, η ικανότητα αζωτοδέσμευσής τους μετά τον εμβολιασμό. Μέχρι το στάδιο της άνθησης, τα φυτά τροφοδοτήθηκαν είτε με τυπικό θρεπτικό διάλυμα για τις ανάγκες του αμπελοφάσουλου (100%) με κανονική συγκέντρωση ολικού αζώτου (N), είτε με θρεπτικό διάλυμα που περιείχε το 60% του αζώτου του τυπικού διαλύματος. Στη συνέχεια, από τα φυτά που λαμβάνανε θρεπτικό διάλυμα 60% N, μειώσαμε σε κάποια το N σε 30% και σε άλλα μειώθηκε από 60% N σε 0%, ενώ στα φυτά με 100% N, δεν έγινε κάποια επέμβαση, μέχρι το τέλος της καλλιεργητικής περιόδου. Η ικανότητα αζωτοδέσμευσης υπολογίστηκε με τη μέθοδο της φυσικής αφθονίας του ισοτόπου <sup>15</sup>N. Παράλληλα, εκτιμήθηκε η συνολική βιομάζα, η συνολική παραγωγή νωπών λοβών, καθώς κι η πρόσληψη θρεπτικών συστατικών από τα φυτά. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι ο εμβολιασμός με το στέλεχος *Ensifer* spp., είτε μόνο του είτε σε μείγμα με το *Bradyrhizobium* spp, αύξησε την ποσότητα του βιολογικά δεσμευμένου N και την παραγωγή σε σύγκριση με τον εμβολιασμό μόνο με *Bradyrhizobium* spp. Επιπλέον, διαπιστώθηκε ότι η ήπια μείωση του ανόργανου N πριν και μετά τον σχηματισμό φυματίων είναι πιο αποτελεσματική πρακτική, για τη μείωση των εξωτερικών εισροών N χωρίς να επηρεάζεται η απόδοση παραγωγής στις υδροπονικές καλλιέργειες αμπελοφάσουλου.

Λέξεις κλειδιά: αμπελοφάσουλο, υδροπονία, ψυχανθή, ριζόβια, θρεπτικό διάλυμα, αζωτοδέσμευση, άζωτο

Impact of different rhizobial strains and reduced Nitrogen supply on growth, yield and nutrient uptake in Cowpea (*Vigna unguiculata* subsp. *unguiculata* (L.)) grown hydroponically

The present study was conducted in March 2016 at the Laboratory of Horticulture at the premises of Agricultural University of Athens. It was observed the effect of root inoculation on two different indigenous nitrogen fixing strains, *Bradyrhizobium* spp., *Ensifer* spp. and a mixture of them on *Vigna unguiculata* subsp. *unguiculata* (L.) Walp, in soilless culture. The plants were grown in perlite bags and supplied with different nitrogen solutions to evaluate their nitrogen-fixing ability after inoculation. Up to the flowering stage, the plants were supplied either standard nutrient solution (100%) for the needs of cowpea with normal total nitrogen (N) concentration, or with nutrient solution containing 60% of the standard solution nitrogen. Afterwards, plants receiving 60% of N, decreased to 30% N and the ones that were supplied primarily with 60%, were decreased to 0%, while plants with 100% N did not receive any intervention until the end of the growing season. The nitrogen-fixing capacity was calculated by the method of natural abundance of the <sup>15</sup>N isotope. At the same time, total biomass, total production of fresh pods, and intake of nutrients from the plants were estimated. The results indicated that inoculation with *Ensifer* spp., either alone or in a mixture with *Bradyrhizobium* spp., increased the amount of biologically bound N as well as the total biomass production compared to inoculation with *Bradyrhizobium* spp. In addition, it was found that mild reduction of inorganic N before and after the formation of N<sub>2</sub>-fixing nodules could be considered an effective strategy to reduce N fertilizer supply in hydroponic cowpea crops without compromising yield.

Keywords: legume; nitrogen; strains; hydroponics; *Vigna unguiculata*, *Ensifer* spp

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Για τη παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου κύριο Σάββα Δημήτριο, που δέχτηκε την εποπτεία αυτής, διαθέτοντας τον χρόνο του, προσφέροντας τις γνώσεις και την πολύτιμη βοήθειά του σε όλα τα στάδια της μελέτης, αλλά και για την εμπιστοσύνη, που μου έδειξε κατά τη διάρκεια της εκπόνησής της.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω ειλικρινά την επίκουρο καθηγήτρια, κυρία Ταμπακάκη Αναστασία και τον επίκουρο καθηγητή, κύριο Καραπάνο Ιωάννη, για την συμμετοχή τους στην εξεταστική επιτροπή, καθώς και τις συναδέλφους μου Βλάχου Μαρία και Ριζοπούλου Ελένη, για την καταλυτική τους συνεισφορά στην εξελικτική πορεία του πειράματος.

Εγκάρδιες ευχαριστίες στην αγαπημένη μου ερευνήτρια και μεταδιδάκτορα στο εργαστήριο κηπευτικών καλλιεργειών, κυρία Ντάτση Γεωργία, για την άκρως εποικοδομητική της συμβολή, την υπομονή που έδειξε κατά τη διάρκεια του εκπόνησής της, τη συνεργασία και τις πολύτιμες συμβουλές της.

Παράλληλα, σε αυτό το σημείο θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κύριο Ροπόκη Ανδρέα και τον κύριο Παναγιωτάκη Ιωάννη κι όλο το προσωπικό του εργαστηρίου Κηπευτικών καλλιεργειών του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών, για τη συνεργασία καθόλη τη διάρκεια του πειράματος, καθώς και για τη διάθεση του υλικοτεχνικού εξοπλισμού, για την πραγματοποίηση της μελέτης.

Τέλος, θα ήθελα να απευθύνω τις ευχαριστίες μου στην οικογένειά μου για την υποστήριξη, την ανεξάντλητη υπομονή και συμπαράστασή τους, κατά τη διάρκεια των σπουδών μου.

## **ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ**

**I ΕΞΩΦΥΛΛΟ**

**II ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

**III ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

**IV ABSTRACT**

**1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

**1.1 ΨΥΧΑΝΘΗ**

**1.2 Ο ΡΟΛΟΣ ΤΩΝ ΨΥΧΑΝΘΩΝ**

**1.3 ΒΙΓΝΑ**

**1.3.1 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ**

**1.3.2 ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΗ ΒΙΓΝΑ**

**1.3.3 ΚΑΤΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΔΙΑΔΟΣΗ**

**1.3.4 ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ**

**1.3.4.1 ΥΠΕΡΓΕΙΟ ΜΕΡΟΣ**

**1.3.4.2 ΥΠΟΓΕΙΟ ΜΕΡΟΣ**

**1.3.5 ΕΔΑΦΟΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ &  
ΠΡΟΣΑΡΜΟΣΤΙΚΟΤΗΤΑ**

**1.3.6 ΚΑΛΛΙΕΡΓΗΤΙΚΕΣ ΠΡΑΚΤΙΚΕΣ**

**1.3.6.1 ΑΜΕΙΨΙΣΠΟΡΑ**

**1.3.6.2 ΣΠΟΡΑ**

**1.3.6.3 ΑΡΔΕΥΣΗ**

**1.3.6.4 ΥΠΟΣΤΗΛΩΣΗ**

**1.3.6.5 ΛΙΠΑΝΣΗ**

**1.3.7 ΣΥΚΟΜΙΔΗ - ΑΠΟΛΟΣΕΙΣ**

**1.3.8 ΟΙ ΧΡΗΣΕΙΣ ΤΗΣ ΒΙΓΝΑΣ ΚΑΙ Η ΔΙΑΤΡΟΦΙΚΗ ΤΗΣ ΑΞΙΑ**

**1.3.9 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ, ΑΓΡΟΝΟΜΙΚΗ ΚΑΙ ΚΟΙΝΩΝΙΚΗ ΣΗΜΑΣΙΑ**

**2 ΚΥΚΛΟΣ ΤΟΥ ΑΖΩΤΟΥ - ΑΖΩΤΟΔΕΣΜΕΥΣΗ**

**2.1 ΣΤΑΔΙΑ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ ΦΥΜΑΤΙΩΝ**

**2.2 ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΦΥΜΑΤΙΩΝ**

**2.3 ΣΗΜΑΣΙΑ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ ΦΥΜΑΤΙΩΝ**

**3 ΥΔΡΟΠΟΝΙΑ**

**3.1 ΟΡΙΣΜΟΣ**

- 3.2 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ – ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΥΔΡΟΠΟΝΙΑΣ
- 3.3 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΥΔΡΟΠΟΝΙΑΣ
- 3.4 ΥΠΟΣΤΡΩΜΑΤΑ ΥΔΡΟΠΟΝΙΚΙΑΣ & ΟΙ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥΣ
- 3.5 ΧΗΜΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΘΡΕΠΤΙΚΩΝ ΔΙΑΛΥΜΑΤΩΝ
- 4 ΘΡΕΨΗ
  - 4.1 ΜΑΚΡΟΣΤΟΙΧΕΙΑ
  - 4.2 ΜΙΚΡΟΣΤΟΙΧΕΙΑ
- 5 ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ
  - 5.1 ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ
  - 5.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ
  - 5.3 ΘΡΕΠΤΙΚΑ ΔΙΑΛΥΜΑΤΑ
  - 5.4 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ
    - 5.4.1 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ
    - 5.4.2 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΣΕ ΛΟΒΟΥΣ ΒΙΓΝΑΣ
    - 5.4.3 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΘΡΕΠΤΙΚΩΝ ΣΤΟΥΠΕΡΓΕΙΟ ΜΕΡΟΣ
    - 5.4.4 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΘΡΕΠΤΙΚΩΝ ΣΤΑ ΔΙΑΛΥΜΑΤΑ ΑΠΟΡΡΟΗΣ
- 6 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ
  - 6.1 ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
    - 6.1.1 ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΡΠΩΝ
    - 6.1.2 ΣΥΝΟΛΙΚΟΣ ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΑΡΠΩΝ
    - 6.1.3 ΜΕΣΟ ΒΑΡΟΣ ΚΑΡΠΟΥ
    - 6.1.4 ΑΓΡΟΝΟΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΡΠΟΥ
      - 6.1.4.1 ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΚΑΡΠΩΝ
      - 6.1.4.2 ΜΗΚΟΣ ΚΑΡΠΩΝ
      - 6.1.4.3 ΑΡΙΘΜΟΣ ΣΠΕΡΜΑΤΩΝ ΑΝΑ ΚΑΡΠΟ
  - 6.2 ΑΡΙΘΜΟΣ ΦΥΜΑΤΙΩΝ
  - 6.3 ΘΡΕΠΤΙΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΥΠΕΡΓΕΙΟΥ ΜΕΡΟΥΣ
    - 6.3.1 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΚΑΛΙΟΥ ΥΠΕΡΓΕΙΟΥ ΜΕΡΟΥΣ
    - 6.3.2 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΜΑΓΝΗΣΙΟΥ ΥΠΕΡΓΕΙΟΥ ΜΕΡΟΥΣ
    - 6.3.3 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΜΑΓΓΑΝΙΟΥ ΥΠΕΡΓΕΙΟΥ ΜΕΡΟΥΣ
    - 6.3.4 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΨΕΥΔΑΡΓΥΡΟΥ ΥΠΕΡΓΕΙΟΥ ΜΕΡΟΥΣ
    - 6.3.5 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΣΙΔΗΡΟΥ ΥΠΕΡΓΕΙΟΥ ΜΕΡΟΥΣ
    - 6.3.6 ΝΩΠΑ & ΞΗΡΑ ΒΑΡΗ ΥΠΕΡΓΕΙΟΥ ΜΕΡΟΥΣ

**6.3.7 ΝΩΠΑ & ΞΗΡΑ ΒΑΡΗ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΜΕΡΟΥΣ**

**6.4 ΔΕΣΜΕΥΣΗ ΑΖΩΤΟΥ**

**6.5 ΘΡΕΠΤΙΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΔΙΑΛΥΜΑΤΩΝ ΑΠΟΡΡΟΗΣ**

**6.5.1 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΚΑΛΙΟΥ ΔΙΑΛΥΜΑΤΩΝ ΑΠΟΡΡΟΗΣ**

**6.5.2 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΜΑΓΝΗΣΙΟΥ ΔΙΑΛΥΜΑΤΩΝ ΑΠΟΡΡΟΗΣ**

**6.5.3 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΜΑΓΓΑΝΙΟΥ ΔΙΑΛΥΜΑΤΩΝ ΑΠΟΡΡΟΗΣ**

**6.5.4 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΨΕΥΔΑΡΓΥΡΟΥ ΔΙΑΛΥΜΑΤΩΝ  
ΑΠΟΡΡΟΗΣ**

**6.5.5 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΣΙΔΗΡΟΥ ΔΙΑΛΥΜΑΤΩΝ ΑΠΟΡΡΟΗΣ**

**6.5.6 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΝΙΤΡΙΚΩΝ ΔΙΑΛΥΜΑΤΩΝ ΑΠΟΡΡΟΗΣ**

**7 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ**

**8 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

**8.1 ΕΛΛΗΝΙΚΗ**

**8.2 ΞΕΝΗ**

**8.3 INTERNET**



# ΚΕΦΑΛΑΙΟ Ι

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η καλλιέργεια της βίγνας (*Vigna unguiculata* (L.) Walp ) έχει αρχίσει από την αρχαιότητα και τα τελευταία χρόνια το ενδιαφέρον της επιστημονικής κοινότητας έχει επικεντρωθεί στην αξιολόγηση του δυναμικού του γενετικού υλικού και στην αξιοποίηση του σε βελτιωτικά προγράμματα.

### 1.1 ΨΥΧΑΝΘΗ

Τα ψυχανθή (λατ. Papilionoideae ή Faboideae) έχουν παίξει καθοριστικό ρόλο στη γεωργία και κατατάσσονται από πλευράς σπουδαιότητας στη δεύτερη θέση μετά τα σιτηρά (Poaceae). Ανήκουν στην κλάση Magnoliopsida (δικότυλα), Υποκλάση: Rosidae, Τάξη: Fabales, Οικογένεια: Fabaceae, η οποία είναι η τρίτη μεγαλύτερη στον κόσμο όσον αφορά τον αριθμό των ειδών που περιλαμβάνοντας (18.000 είδη). Ενδεικτικός Ανθικός τύπος:  $\lambda K_{(5)} \Sigma_{(5)} A_{(10)} \Gamma_{\perp}$  ή  $\lambda K_{(5)} \Sigma_{(5)} A_{(9)+1} \Gamma_{\perp}$ . Περιλαμβάνει ξυλώδη φυτά που εξαπλώνονται κυρίως στις τροπικές χώρες και ποώδη φυτά που εξαπλώνονται κυρίως στις εξωτροπικές. Κατά τους Cronquist (1981), Elias(1974) και Robertson & Lee (1976), τα είδη της οικογένειας αυτής ταξινομούνται σε τρεις υποοικογένειες Caesalpinioideae, Mimosoideae, Faboideae (Papilionoideae). Η τελευταία περιλαμβάνει κυρίως ποώδη φυτά και μικρούς θάμνους, σπανίως δένδρα, με φύλλα απλά ή σύνθετα παλαμοειδή ή περιττόληκτα ή αρτιόληκτα, με έλικες. Άνθη ζυγόμορφα κατά βοτρυώδεις ταξιανθίες . Καρπός χέδρωψ, που διαρρηγνεται από την κοιλιακή, νωτιαία ή κι από τις δύο ραφές. Τα φυτά της υποοικογένειας αυτής φύονται κατά προτίμηση σε ασβεστούχα εδάφη. (Σαρλής Γ., 1999). Όπως προκύπτει και ετυμολογικά, “ψυχανθή” λέγονται επειδή τα άνθη τους μοιάζουν με πεταλούδα (ψυχή = πεταλούδα). .

### 1.2 Ο ΡΟΛΟΣ ΤΩΝ ΨΥΧΑΝΘΩΝ

Τα ψυχανθή παίζουν καθοριστικό ρόλο σε συστήματα αμειψισποράς, λόγω της ικανότητάς τους να δεσμεύουν το άζωτο της ατμόσφαιρας, χάρις στην ικανότητά τους να αναπτύσσουν συμβιωτικές σχέσεις με τα βακτήρια του γένους *Rhizobium* (αζωτοβακτήρια) (Παπακώστα, 2005). Με τη δέσμευση αυτή, τα φυτά όχι μόνο καλύπτουν σχεδόν εξ ολοκλήρου ή εν μέρει τις ανάγκες τους σε άζωτο, αλλά εμπλουτίζουν το έδαφος με άζωτο, το οποίο χρησιμοποιεί η καλλιέργεια που θα ακολουθήσει (Παπακώστα, 2005). Η συμβιωτική αυτή σχέση που αναπτύσσουν με τα αζωτοβακτήρια, δεσμεύει ατμοσφαιρικό άζωτο, κι έτσι τα ίδια τα φυτά καλύπτουν μέρος των αναγκών τους σε άζωτο από το δεσμευόμενο και όχι

εξολοκλήρου από το άζωτο του εδάφους και ταυτόχρονα, μέρος από το δεσμευόμενο άζωτο των ριζόβιων στελεχών παραμένει στο έδαφος και έτσι επωφελούνται κι οι επόμενες καλλιέργειες. Μπορούν δηλαδή να βελτιώσουν την γονιμότητα του εδάφους και να μειώσουν τη συχνότητα εμφάνισης ζιζανίων και παρασίτων (Mwanamwenge et al., 1998). Με την αξιοποίηση της ιδιότητας της αζωτοδέσμευσης εκ μέρους των ψυχανθών, γίνεται οικονομία σε αζωτούχα λιπάσματα και προστατεύεται το περιβάλλον από την έκπλυση των νιτρικών στα υπόγεια ύδατα ( Παπακώστα, 2005).

Η θρεπτική τους αξία είναι πολύ σημαντική επίσης. Τα καλλιεργούμενα ψυχανθή, ανάλογα με το είδος και τις οικολογικές απαιτήσεις τους, αλλά κι άλλους παράγοντες καλλιεργούνται κυρίως για τη διατροφή του άνθρωπου εξασφαλίζοντάς του, νωπούς καρπούς (αρακάς, κουκιά), τα αποξηραμένα σπέρματα τους, γνωστά ως όσπρια (ρεβίθια, φασόλια, κουκιά, μπιζέλια), αλλά και για τη διατροφή των κτηνοτροφικών ζώων, αξιοποιείται σημαντικά σε παγκόσμια κλίμακα, η βιομάζα τους (μηδική, τριφύλλια). Οι καρποί είναι πλούσιοι σε υδατάνθρακες και πρωτεΐνες υψηλής βιολογικής αξίας. Καλλιεργούνται επίσης για τη χρήση ινών και τη φαρμακευτική τους χρήση (Δαλιάνης, 1983). Τα όσπρια αποτελούν πλούσια πηγή φυτικών πρωτεϊνών. Ωστόσο, η ποιότητα της πρωτεΐνης είναι κατώτερη από αυτή των ζωικών προϊόντων, λόγω των μειωμένων ποσοτήτων θεικών αμινοξέων, της αντίστασης στην πρωτεόλυση λόγω της φύσης του σπόρου και την παρουσία άλλων ενώσεων που μπορούν να μειώσουν τη βιοδιαθεσιμότητα των πρωτεϊνών. Το ανθρώπινο σώμα μπορεί να χρησιμοποιήσει περίπου μεταξύ 32% και 78% της πρωτεΐνης από τα όσπρια που έχει καταναλώσει. Έρευνες δείχνουν ότι τα όσπρια μπορούν να συμβάλλουν στην ανθρώπινη υγεία, κυρίως μέσω της πρόληψης της στεφανιαίας νόσου και, ενδεχομένως του διαβήτη. Οι μηχανισμοί που είναι υπεύθυνοι για αυτό το φαινομενικά προστατευτικό ρόλο μπορεί να περιλαμβάνουν μία ευνοϊκή επίδραση στα λιπίδια και τη γλυκόζη του αίματος (Dilis & Trichoroulou, 2009). Παρόλα αυτά, τα όσπρια παραδοσιακά καταναλώνονται μαζί με τα δημητριακά, τα οποία είναι σχετικά πλούσια σε θειικά αμινοξέα, αλλά ανεπαρκή σε λυσίνη. Τα όσπρια έχουν γενικά υψηλή περιεκτικότητα σε λυσίνη, κι ως εκ τούτου, όταν συνδυάζονται με τα δημητριακά, εξασφαλίζουν διατροφή υψηλής πρωτεϊνικής αξίας όπως παρουσιάζεται και στον Πίνακα\_1 (Dilis & Trichoroulou, 2009). Εκτός από την υψηλή περιεκτικότητά τους σε πρωτεΐνες, τα όσπρια περιέχουν σε υψηλές ποσότητες σύνθετους υδατάνθρακες, κυρίως άμυλο και φυτικές ίνες, όπως επίσης αποτελούν σημαντική πηγή βιταμινών (κυρίως της ομάδας B) και ανόργανων στοιχείων όπως Fe, Mg, Zn και P. Εκτός από το λαθούρι, είναι

πλούσια σε θρεπτικά στοιχεία, κυρίως σε πρωτεΐνες, υδατάνθρακες και βιταμίνες Α και C. Η βιοδιαθεσιμότητα των μεταλλικών στοιχείων από τα όσπρια για τις φυσιολογικές διεργασίες του ανθρώπινου οργανισμού παρουσιάζει μεγάλες διακυμάνσεις. Η συνήθης διαδικασία προετοιμασίας των οσπρίων, όπως το μούλιασμα και το μαγείρεμα, γενικά μειώνουν τη βιοδιαθεσιμότητα των διαφόρων θρεπτικών συστατικών όπως μέταλλα, βιταμίνες και ορισμένα αμινοξέα, καθώς και διαφόρων μη-θρεπτικών αλλά βιολογικά ενεργών συστατικών, τα οποία πιστεύεται ότι εμπλέκονται σε διάφορες βιολογικές λειτουργίες στον ανθρώπινο οργανισμό.

Πίνακας\_1: Θρεπτικό περιεχόμενο ανά 100 gr ωμών οσπρίων (Dilis & Trichopoulou, 2009)

	ΦΑΣΟΛΙΑ	ΦΑΚΕΣ	ΡΕΒΙΘΙΑ	ΚΟΥΚΙΑ
Ενέργεια (kcal)	286	297	320	245
Νερό (g)	11,3	10,8	10,0	11,0
Πρωτεΐνη (g)	21,4	24,3	21,3	26,1
Ολικά λιπίδια (g)	1,6	1,9	5,4	2,1
SFA (g)	0,3	0,2	0,5	0,3
MUFA (g)	0,4	0,3	1,1	0,3
PUFA (g)	0,5	0,8	2,7	1,1
Χοληστερόλη (mg)	0	0	0	0
Υδατάνθρακες (g)	49,7	48,8	49,6	32,5
Άμυλο (g)	42,7	44,5	43,8	24,4
Ολικά σάκχαρα (g)	2,8	1,2	2,6	5,9
Διαιτητικές ίνες (g)	17	8,9	10,7	27,6
<b>ΑΝΟΡΓΑΝΑ ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ</b>				
Na (mg)	43	12	39	11
K (mg)	1160	940	1000	1090
Ca (mg)	180	71	160	100
Mg (mg)	180	110	130	190
P (mg)	310	350	310	590
Fe (mg)	6,7	11,1	5,5	5,5
Zn (mg)	2,8	3,9	3	3,1
<b>ΒΙΤΑΜΙΝΕΣ</b>				
Ρετινόλη (g)	0	0	0	0
Καροτένιο (g)	Ίχνη		60	
Βιταμίνη E (mg)	0,21		2,88	
Θειαμίνη (mg)	0,45	0,41	0,39	0,5
Ριβοφλαβίνη (mg)	0,13	0,27	0,24	0,26
Βιταμίνη B6 (mg)	0,56	0,93	0,53	0,37
Βιταμίνη C (mg)	Ίχνη	Ίχνη	Ίχνη	Ίχνη

### 1.3 ΒΙΓΝΑ

Με το όνομα βίγνα είναι γνωστά 170 περίπου είδη φυτών του γένους *Vigna* της

οικογένειας των ψυχανθών. Όπως φαίνεται και στον Πίνακα\_2, στα είδη του γένους *Vigna* περιλαμβάνονται πέντε υποείδη κι είναι φυτά ποώδη, αναρριχώμενα ή με έρπουσα ανάπτυξη.

Πίνακας\_2 Τα πέντε υποείδη της Βίγνας(πηγή)

Cultivar group	Selected feature
<i>unguiculata</i>	Includes most African grain and forage types. More than 16 ovules/pod.
<i>melanophthalmus</i>	Blackeye pea types. Less than 17 ovules/pod. Grown mostly in the Americas.
<i>biflora</i> (Catiang)	Smooth seed in short erect pods. Common in India. Less than 17 ovules/pod.
<i>sesquipedalis</i>	Asparagus or yard-long beans. Very long pods consumed fresh, especially in the People's Republic of China.
<i>textilis</i>	Rare form with very long peduncles once used for fibre in Africa.

Η *Vigna unguiculata* καλλιεργείται ευρύτατα σε διάφορες περιοχές της γης. Τα πέντε υποείδη της βίγνας είναι γόνιμα σε μεταξύ τους διασταυρώσεις, ενώ αντίθετα προσπάθειες που έγιναν να διασταυρωθούν με άλλα είδη βίγνας και ειδικότερα με τα *Vigna luteola*, *V. marina* και *V. Nilotica*, που είχαν προταθεί ως πρόγονοι της καλλιεργούμενης βίγνας, απέτυχαν (Δαλιάνης, 1983). Απόψεις άλλων ερευνητών αναφέρουν ότι τα τρία καλλιεργούμενα υποείδη, μπορούν να διασταυρωθούν μεταξύ τους ενώ η διασταύρωση με άλλα καλλιεργούμενα ή άγρια είδη δεν είχε επιτυχία. (Blackhurst & Miller, 1980).

### 1.3.1 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ

Το αμπελοφάσουλο ανήκει στην οικογένεια Fabaceae (Leguminosae), υποοικογένεια Faboideae/ Papilionoideae, φυλή Phaseoleae, τμήμα (section) Catiang (Verdcourt, 1970; Marechal, Mascherpa and Stainier 1978). Στον Πίνακα\_3, παρουσιάζεται αναλυτικά η βοτανική ταξινόμηση του είδους.

Πίνακας 3 Ταξινόμηση αμπελοφάσολου *Vigna unguiculata* L. (Walp)

Taxonomic placement	Scientific name
Kingdom	<i>Plantae</i>
Division	<i>Magnoliophyta</i>
Class	<i>Magnoliopsida</i>
Order	<i>Fabales</i>
Family	<i>Fabaceae</i>
Sub-family	<i>Faboideae</i>
Tribe	<i>Phaseoleae</i>
Sub-tribe	<i>Phaseolinae</i>
Genus	<i>Vigna</i>
Section	<i>Catiang</i>
Species	<i>unguiculata</i>
Botanical varieties	1. <i>Vigna unguiculata unguiculata</i> var. <i>unguiculata</i> 2. <i>Vigna unguiculata unguiculata</i> var. <i>spontanea</i>

Η *Vigna unguiculata* υποδιαιρείται σε 11 υποείδη (Padulosi, 1993; Padulosi and Ng, 1997; Pasquet, 1997, 1993a, 1993b). Δέκα από τα οποία είναι πολυετή και ένα ετήσιο (cowpea). Τα αναλυτικά δεδομένα παρουσιάζονται στον Πίνακα\_4.

Πίνακας\_4 Έντεκα υποείδη της *Vigna unguiculata*

Subspecies	Perennial	Annual	Habitat
<i>aduensis</i> <sup>2</sup>	Yes		Montane forest areas in Ethiopia north of the Blue Nile (altitude 1 400-2 600 m).
<i>alba</i> <sup>1</sup>	Yes		In the coastal plains from São Tomé and Gabon to north-western Angola.
<i>baouliensis</i> <sup>2</sup>	Yes		West African rain forest area, from Sierra Leone to eastern Cameroon.
<i>burundiensis</i> <sup>2</sup>	Yes		Mainly found in forest margins, gallery forest margins or cleared grasslands in the subhumid and humid zones in Burundi, Uganda and the Kakamega forest in western Kenya.
<i>dekintiana</i> <sup>1</sup>	Yes		In semi-arid zones with a disjunct distribution in the mountains from southern Angola and Zimbabwe, and a few specimens observed in northwest Zambia (altitude 1 400-1 900 m) and possibly in West Africa.
<i>letouzeyi</i> <sup>2</sup>	Yes		The Congolese basin rainforest from Cameroon and Gabon to the border of the Democratic Republic of the Congo with Uganda.
<i>pawekiae</i> <sup>2</sup>	Yes		Montane forest of eastern Zimbabwe to south-western Ethiopia through Malawi, eastern Tanzania, Ngorongoro and the major Kenyan mountains. Also observed in the mountains east of Lake Tanganyika (altitude 1 400-2 600 m).
<i>pubescens</i> <sup>1</sup>	Yes		In the coastal Indian Ocean plain from Maputo to Kenya. (A few specimens have also been collected in swamps in Burundi, southern Sudan, south-western Tanzania and Uganda).
<i>stenophylla</i> <sup>1</sup>	Yes		Complex distribution where pubescent forms (var. <i>protracta</i> (E. Mey.) Mithen) are in the back of the coastal sand dunes in eastern Cape Province, at higher elevation from Transkei northward, on the eastern slopes of the Drakensberg at 500-1 500 m elevation, in Swaziland and east of Mpumalanga and Northern Province. Narrow leaflet forms (var. <i>stenophylla</i> (Harv.) Mithen) occur at low elevations in north-eastern Natal, Swaziland and Kruger Park plain, and at 1 200-1 500 m elevation in the high veld of West Mpumalanga, Gauteng and the northern part of Free State. Scabrous lobed-leaflet forms (var. <i>kgalagadiensis</i> Mithen) found in north-eastern Namibia, Botswana, Zambian Barotseland and north-western Zimbabwe.
<i>tenuis</i> <sup>1</sup>	Yes		In two different areas: Zambia-Zimbabwe-Malawi at 1 200-1 800 m and in a coastal area from southern Natal to mid-Mozambique.
<i>unguiculata</i> <sup>1</sup>		Yes	Widely cultivated especially in West Africa (see Figure 5.3).

### 1.3.2 ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΗ ΒΙΓΝΑ

Η καλλιέργεια της βίγνας είναι μία από τις αρχαιότερες πηγές τροφίμων για τον άνθρωπο και έχει πιθανώς ξεκινήσει ως καλλιέργεια από τη Νεολιθική εποχή. Είναι μια σπουδαία θρεπτική πηγή διατροφής για περισσότερους από 200 εκατομμύρια ανθρώπους στην υποσαχάρια Αφρική και συγκαταλέγεται στα 10 σημαντικότερα φρέσκα λαχανικά της Κίνας.

### 1.3.3 ΚΑΤΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΔΙΑΔΟΣΗ

Όλα τα στοιχεία δείχνουν ότι το κέντρο καταγωγής της ήταν στην Αφρική, αλλά το πού εξημερώθηκε είναι αβέβαιο. Μεταξύ των χωρών της Αφρικής, η Αιθιοπία, η Κεντρική, Νότια και Δυτική Αφρική θεωρούνται τα πιθανά κέντρα της εξημέρωσης των καλλιεργούμενων ειδών βίγνας (Ng and Padulosi, 1988). Η Ινδία εμφανίζεται ως δευτερεύον κέντρο ποικιλομορφίας. Χάρη στη σημαντική γενετική παραλλακτικότητα που παρατηρείται και η καλλιέργειά της είναι πιθανό να εισήχθη κατά τη διάρκεια της Νεολιθικής περιόδου (Pant *et al.*, 1982), ενώ το κέντρο παραλλακτικότητας αγρίων ειδών αποτελεί η Νοτιοανατολική Αφρική (Ng and Padulosi, 1988; Padulosi *et al.*, 1997). Απαντάται και στη Νοτιοανατολική Ευρώπη, τουλάχιστον από τον 8<sup>ο</sup> αιώνα π.Χ. ίσως κι από τους προϊστορικούς. Με την ανακάλυψη της Αμερικής η βίγνα μεταφέρθηκε στο νέο

κόσμο περί το 1700 (Pursglove, 1968), όπου σήμερα η καλλιέργεια της καταλαμβάνει αρκετή έκταση. (Tost and Negri, 2002). Το υποείδος *Vigna unguiculata ssp dekindtiana* θεωρείται ως ο άμεσος πρόγονος των άγριων μορφών. Φυσικοί πληθυσμοί, αποτέλεσμα διασταύρωσης μεταξύ των καλλιεργούμενων και άγριων μορφών (*ssp dekindtiana*) υπό μορφή ζιζανίων φαίνεται να αναπτύσσονται σε ορισμένα μέρη της Δυτικής Αφρικής (Rawal, 1976). Παρά τη μεγάλη ποικιλομορφία των μορφολογικών και φαινολογικών χαρακτηριστικών μεταξύ των καλλιεργούμενων πληθυσμών βίγνας, η γενετική ποικιλομορφία που παρατηρείται στη γονιδιακή δεξαμενή φαίνεται να είναι περιορισμένη. Σε αρκετές πρόσφατες μελέτες που αξιολογούν γενετική παραλλακτικότητα με βάση τα ισοένζυμα (Panella and Gepts, 1992; Vaillancourt *et al.*, 1993), τη ποικιλομορφία ως προς τις πρωτεΐνες του σπόρου (Panella *et al.*, 1993), και το DNA χλωροπλάστη (Vaillancourt και Weeden, 1992), η καλλιεργούμενη βίγνα έχει αποδειχθεί ότι χαρακτηρίζεται από μια στενή γενετική βάση που υποδηλώνει ότι η καλλιέργεια πέρασε από μια περίοδο «γενετικής συμφόρησης» κατά τη διάρκεια της εξημέρωσης της. Οι βελτιωτές σήμερα αναζητούν τη γενετική παραλλακτικότητα στους εγχώριους πληθυσμούς της βίγνας διεθνώς για την απαραίτητη αξιολόγηση και χαρακτηρισμό τους με στόχο τη σωστή διαχείρισή τους (Keneni *et al.*, 2002). Η αδιαμφισβήτητη ανωτερότητα σε επίπεδο ποιότητας και απόδοσης των σύγχρονων ποικιλιών σε σχέση με τις παραδοσιακές αντίστοιχες ποικιλίες, σε συνδυασμό με την εντατικοποίηση της γεωργίας και τις απαιτήσεις της αγοράς για υψηλή απόδοση και ομοιογένεια, έχει οδηγήσει στην αντικατάστασή τους από λίγες και εκλεκτές βελτιωμένες ποικιλίες και υβρίδια και κατά συνέπεια στη μείωση της βιοποικιλότητας και τη γενετική διάβρωση με άμεση συνέπεια των παραπάνω, ένα μεγάλο μέρος του παραδοσιακού υλικού που μας κληροδότησαν οι προηγούμενες γενεές να έχει χαθεί (Stavropoulos *et al.*, 2006).

### **1.3.4 ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ**

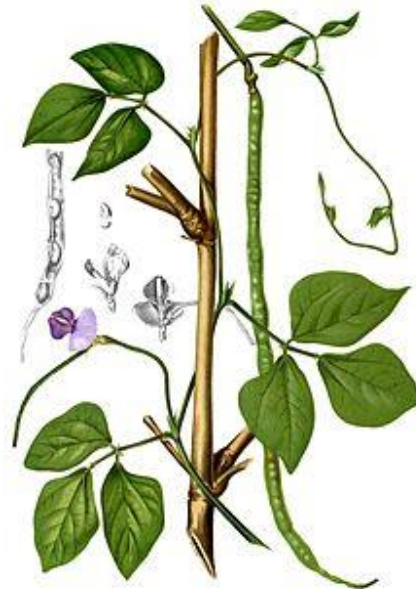
#### **1.3.4.1 ΥΠΕΡΓΕΙΟ ΜΕΡΟΣ**

*Vigna unguiculata* (L.) Walp. *ssp. unguiculata* (L.) (Common cowpea, southernpea) αποτελεί το σημαντικότερο υποείδος του είδους. Τα φυτά του υποείδους αυτού χαρακτηρίζονται από το πυκνό τους φύλλωμα. Ο κύριος βλαστός είναι κυλινδρικός και εύκαμπτος. Τα φύλλα τους είναι σύνθετα αποτελούμενα από τρία έμμισχα και ρομβοειδή φυλλάρια. Στην εικόνα\_1, παρουσιάζεται σκιτσογραφικά (Steward, 1958, digitized by BHL wiki and licensed under CC BY-NY-SA 4.0) το υπέργειο μέρος του φυτού και στην εικόνα\_2 έγχρωμη αποτύπωση του φυτού.

Εικόνα\_1: Υπέργειο μέρος της *Vigna unguiculata* (φύλλα, βλαστοί μίσχοι φύλλων, άνθη, τα αναπαραγωγικά όργανα που περιλαμβάνουν τους 10 στήμονες, ύπερο, στεφάνη άνθους



Εικόνα\_2: Έγχρωμο σκίτσο φυτού (Wikipedia)



Τα άνθη τους είναι λευκά, ωχρά, ωχροκίτρινα, ιώδη ή κόκκινα και φέρονται ανά 2-3 στην άκρη μασχαλιαίων αξόνων (Εικόνα\_3: Άνθη βίγνας από τις εγκαταστάσεις του ΓΠΑ, που φωτογραφήθηκαν κατά τη διάρκεια του πειράματος). Φέρουν κάλυκα πενταμερή, πενταμερή στεφάνη, 10 στήμονες και απλό ύπερο. Η τροπίδα τους είναι ανεστραμμένη. Το άνοιγμα των ανθέων γίνεται νωρίς το πρωί. Σχεδόν πάντοτε γίνεται αυτογονιμοποίηση και μόνο σε ένα 2% γίνεται σταυρογονιμοποίηση με έντομα. (Nwokolo E. and Pechukwu S.N., 1996). Η άνθηση είναι κλιμακωτή και συνήθως αναστέλλεται το φθινόπωρο, λόγω δυσμενών καιρικών συνθηκών.

Εικόνα\_3: Άνθη βίγνας από τις εγκαταστάσεις του ΓΠΑ, που φωτογραφήθηκαν κατά τη διάρκεια του πειράματος





Οι λοβοί τους είναι στενοί, λεπτοί, ευθείς ή ελαφρώς κυρτοί και αποκτούν μήκος, ανάλογα με το είδος, από 6 εκατοστά έως και περισσότερο από ένα μέτρο (Εικόνα\_4: Λοβοί βίγνας. Πηγή: <http://aswenna.com/Cowpea.html>).

Εικόνα\_4: Λοβοί βίγνας



Τα σπέρματα τους είναι μικρά, σχεδόν στρογγυλά, έως νεφροειδή και μοιάζουν με τα σπέρματα των φασολιών. Το χρώμα τους είναι λευκό ή σκούρο με διαφορετικό συνήθως χρώμα γύρω από το μάτι, από όπου παίρνουν και το όνομα μαυρομάτικα. Τα σπέρματά τους ποικίλλουν σε αριθμό ανά λοβό, και το σχήμα, το χρώμα και το μέγεθός τους εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από την καλλιεργούμενη ποικιλία. Μπορεί να είναι λεία ή ζαρωμένα (Εικόνα\_5: Σπόροι Βίγνας, Πηγή: [genebank.iita.org](http://genebank.iita.org)).

Εικόνα\_5: Σπόροι Βίγνας



#### 1.3.4.2 ΥΠΟΓΕΙΟ ΜΕΡΟΣ

Η ρίζα του είναι πασσαλώδης, αρκετά ανεπτυγμένη. Το μεγαλύτερο μέρος του ριζικού συστήματος αναπτύσσεται σε βάθος 30-50cm. Στο ριζικό σύστημα, επίσης, φιλοξενούνται και διάφορα είδη αζωτοδεσμευτικών βακτηρίων (Εικόνα\_6: Ρίζα από φυτό βίγνας που καλλιεργήθηκε στο ΓΠΑ, κατά τη διάρκεια του πειράματος).



Εικόνα\_6: Ρίζα από φυτό βίγνας που καλλιεργήθηκε στο ΓΠΑ, κατά τη διάρκεια του πειράματος



### 1.3.5 ΕΔΑΦΟΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΑΡΜΟΣΤΗΚΟΤΗΤΑ

Η βίγνα ή μαυρομάτικο φασόλι ή αμπελοφάσουλο *Vigna unguiculata* (L.) Walp., είναι ψυχανθές, θερμής εποχής φυτό, που καλλιεργείται στις τροπικές και υποτροπικές περιοχές, καθώς και στα εύκρατα κλίματα σε θερμές περιοχές, από αρχές της άνοιξης μέχρι νωρίς το φθινόπωρο. Σε σύγκριση με τα περισσότερα άλλα ψυχανθή, η βίγνα ανέχεται καλύτερα τις υψηλές θερμοκρασίες. Είναι όμως πολύ ευπαθής ακόμα και στις πιο ελαφρές παγωνιές της άνοιξης ή του φθινοπώρου. Σε δριμύτερες παγωνιές καταστρέφεται πλήρως, σε θερμοκρασίες εδάφους και αέρα χαμηλότερες από 17°C. Η άνθηση και η καρπόδεση επίσης, εμποδίζονται σε χαμηλές θερμοκρασίες (Ολύμπιος, 2015). Κάτω από υγρές συνθήκες γίνεται ευπαθής επίσης σε αρκετές ασθένειες των φύλλων. Έλλειψη υγρασίας επηρεάζει δυσμενώς τη βλαστική ανάπτυξη του φυτού, ενώ η παραγωγή σπόρου επηρεάζεται λιγότερο. Σε ημίξηρες περιοχές μπορεί να καλλιεργηθεί χωρίς άρδευση, αλλά με μικρότερες αποδόσεις. Ένα πλεονέκτημα της ξηρικής καλλιέργειας της βίγνας είναι ότι ο σπόρος ωριμάζει πιο ομοιόμορφα σε σύγκριση με τις ποτιστικές καλλιέργειες. Η

καλλιέργειά της παρουσιάζει σημαντική προσαρμογή σε υψηλές θερμοκρασίες και στη ξηρασία ακόμα και σε σχέση με άλλα είδη καλλιεργειών. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η απόδοση καλλιέργειας μαυρομάτικων φασολιών, 1000kg ανά εκτάριο, στη περιοχή Σαχέλ, όπου το ετήσιο ύψος βροχής υπολογίζεται στα 181mm και η ατμόσφαιρα παρουσιάζει υψηλό δείκτη εξατμισοϊκανότητας (Hall and Patel, 1985). Σήμερα διαθέσιμες ποικιλίες άλλων ειδών δεν μπορούν να παράγουν τέτοιες σημαντικές ποσότητες υπό αυτές τις συνθήκες. Αναπτύσσεται και καρποφορεί πολύ ικανοποιητικά, όταν επικρατούν θερμοκρασίες ημέρας από 27-30°C και νύχτας 17-22°C. Η διάρκεια ημέρας για εισαγωγή στην ανθοφορία είναι 8-14 ώρες, με το μεγαλύτερο ποσοστό ποικιλιών να χαρακτηρίζεται ως ουδέτερο (Wienk, 1963). Τα άνθη της δεν έχουν την τάση να πέφτουν τόσο εύκολα κατά τη διάρκεια των καλοκαιρινών μηνών, αν και πολύ υψηλές θερμοκρασίες μπορεί να προκαλέσουν μερική πτώση των ανθέων και των λοβών. Οι διάφορες ποικιλίες αντιδρούν διαφορετικά στη φωτοπερίοδο και τη θερμοκρασία.. Επομένως χρειάζεται προσοχή στην επιλογή των ποικιλιών, ανάλογα με τις συνθήκες του κλίματος και την εποχή καλλιέργειας σε κάθε περιοχή.

Η βίγνα αναπτύσσεται με επιτυχία σε όλους σχεδόν τους τύπους εδαφών, από τα αμμώδη μέχρι τα βαριά αργιλώδη. Η καλλιέργεια είναι ανεκτική σε χαμηλής γονιμότητας εδάφη, λόγω του υψηλού ρυθμού αζωτοδέσμευσης (Elowad and Hall, 1987), της ικανότητας για αποτελεσματική συμβίωση με τη μυκόρριζα (Kwarata and Hall, 1985), της μεγάλης προσαρμοστικότητας και της ικανότητας της να παρουσιάζει μεγάλη αντοχή σε εύρος pH, τόσο στα όξινα αλλά και στα αλκαλικά εδάφη (Fery, 1990). Οι μεγαλύτερες αποδόσεις σε σπόρο λαμβάνονται σε μέτριας γονιμότητας εδάφη με καλή αποστράγγιση. Σε υψηλής γονιμότητας εδάφη ευνοείται η βλαστική ανάπτυξη των φυτών, ενώ οι αποδόσεις σε σπόρο είναι μικρότερες, ενώ σε μειωμένης γονιμότητας εδάφη, η βλαστική ανάπτυξη είναι περιορισμένη αλλά γενικά η παραγωγή σπόρου είναι καλή. (Δαλιάνης, 1983 *et al.*, 1997). Προτιμούνται τα βαριά εδάφη, όταν η καλλιέργεια θα αναπτυχθεί υπό ξηρικές συνθήκες. Τα φυτά είναι ευαίσθητα στο κορεσμένο με νερό έδαφος. Καταλληλότερο pH είναι το ελαφρώς όξινο, ενώ μπορεί να καλλιεργηθεί σε pH μεταξύ 6,5 - 7,5. Τα πολύ όξινα εδάφη είναι ακατάλληλα για την καλλιέργεια της βίγνας (Ολύμπιος, 2015). Γενικά, οι κλιματικές απαιτήσεις της βίγνας είναι παρόμοιες με εκείνες του αραβοσίτου, μόνο που απαιτεί λίγο πιο θερμές συνθήκες.

### **1.3.6 ΚΑΛΛΙΕΡΓΗΤΙΚΕΣ ΠΡΑΚΤΙΚΕΣ**

#### **1.3.6.1 ΑΜΕΙΨΙΣΠΟΡΑ**

Προσαρμόζεται άριστα σε διάφορα συστήματα καλλιέργειας είτε αμιγής είτε σε συγκαλλιέργεια. Μπορεί να συγκαλλιεργηθεί με άλλα φυτά όπως το σόργο (*Sorghum bicolor L.*) ή το κεχρί (*Pennisetum glaucum L.*) ή τον αραβόσιτος (*Zeamays*). Η ικανότητα της βίγνας να δεσμεύει το ατμοσφαιρικό άζωτο μέσω της αζωτοδέσμευσης και να βελτιώνει τη θρεπτική κατάσταση του εδάφους εμπλουτίζοντάς το με άζωτο ακόμα και μετά το τέλος και την απομάκρυνση της καλλιέργειας από τον αγρό, αποτελεί βασικό κριτήριο για την επιλογή του φυτού σε σχέση με άλλα ψυχανθή, ως προς τη χρήση της σε συστήματα αμειψισποράς. Παρόλα αυτά, δεν ενδείκνυται να καλλιεργείται στον ίδιο αγρό συχνότερα από μία φορά κάθε 4 ή 5 χρόνια, καθώς παρουσιάζει ευπάθεια στους νηματώδεις (Δαλιάνης, 1993). Η μονοκαλλιέργεια σήμερα αποκτά ιδιαίτερη σημασία, ώστε η παραγωγή να μπορέσει να ανταποκριθεί στις εμπορικές ανάγκες ενός ταχέως αυξανόμενου πληθυσμού. Στη Σενεγάλη, επικρατεί η μονοκαλλιέργεια της βίγνας (Thiaw *et al.*, 1993), ενώ στην Ασία και τη Βραζιλία ασκείται τόσο η μονοκαλλιέργεια όσο και η συγκαλλιέργεια. (Pandey and Ngarm, 1985; Watt *et al.*, 1985).

#### **1.3.6.2 ΣΠΟΡΑ**

Η βίγνα σπέρνεται την άνοιξη όταν η θερμοκρασία του εδάφους φτάσει τους 15°C κι έχει παρέλθει ο κίνδυνος των παγετών. Η σπορά, όταν η καλλιέργεια προορίζεται για την παραγωγή καρπού ή σανού, γίνεται την ίδια εποχή με τον αραβόσιτο ή το πολύ δυο εβδομάδες αργότερα. Αν η βίγνα προορίζεται για χλωρή λίπανση, χλωρή νομή ή σανό, η σπορά μπορεί να γίνει πολύ αργότερα εφόσον υπάρχουν ευνοϊκές συνθήκες υγρασίας στο έδαφος, πάντως όμως 90 περίπου ημέρες πριν από τις παγωνιές του φθινοπώρου. Για την παραγωγή καρπού (λοβών ή σπόρων), σπέρνεται σε γραμμές που απέχουν 100-120 cm, με αποστάσεις των φυτών εντός των γραμμών 40-60cm. Όταν η καλλιέργεια προορίζεται για την παραγωγή σανού ή για χλωρή λίπανση η σπορά γίνεται σε γραμμές αποστάσεων περίπου 20 cm (Ολύμπιος, 2015). Η απαιτούμενη ποσότητα σπόρου για σπορά είναι περίπου 4 κιλά/στρέμμα και το βάθος σποράς κυμαίνεται μεταξύ 3 και 5 εκ. ή και βαθύτερα εάν δεν υπάρχει αρκετή υγρασία στο έδαφος. Όταν η καλλιέργεια προορίζεται για την παραγωγή σανού ή για χλωρή λίπανση, η απαιτούμενη ποσότητα σπόρου φτάνει σε 10 έως 15 κιλά/στρέμμα.

#### **1.3.6.3 ΑΡΔΕΥΣΗ**

Σε εδάφη με υψηλή υδατοϊκανότητα, η βίγνα μπορεί να καλλιεργηθεί ως ξηρική, όμως μεγαλύτερες αποδόσεις επιτυγχάνονται σε αρδευόμενες καλλιέργειες. Σε ψυχρότερες και

υγρές περιοχές μπορεί να γίνει μια άρδευση πριν από τη σπορά ώστε να κορεστεί το έδαφος με νερό σε βάθος 1,5-2 m ή να γίνει μια προάρδευση και μια απλή άρδευση κατά την εποχή της άνθησης. Σε ξηρές κ θερμές περιοχές χρειάζονται 3 ή 4 αρδεύσεις, με πιο σημαντική την περίοδο μεταξύ της έναρξης της άνθησης και της καρπόδεσης των πρώτων λοβών (μετά από αυτή την περίοδο συνήθως η άρδευση δεν είναι απαραίτητη) (Δαλιάνης, 1983).

#### **1.3.6.4 ΥΠΟΣΤΥΛΩΣΗ**

Με την υποστήλωση αυξάνονται σημαντικά οι αποδόσεις και εμποδίζονται οι μακριοί λοβοί να έρχονται σε επαφή με το έδαφος και να μην υποβαθμίζεται η ποιότητα τους αλλά να εξασφαλίζονται ίσιοι (ευθείς) λοβοί (Ολύμπιος, 2015) (Εικόνα\_7: Υποστήλωση φυτών κατά τη διάρκεια του πειράματος στο ΓΠΑ).

Εικόνα\_7: Υποστήλωση φυτών κατά τη διάρκεια του πειράματος στο ΓΠΑ



#### **1.3.6.5 ΛΙΠΑΝΣΗ**

Οι ποσότητες των λιπασμάτων που θα εφαρμοστούν εξαρτώνται από τον τύπο και τη γονιμότητα του εδάφους, τις ανάγκες της ποικιλίας που θα καλλιεργηθεί και τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου. Η βίγνα έχει ιδιαίτερα υψηλές απαιτήσεις σε Ρ και Κ. Αν και ψυχανθές, αντιδρά θετικά στην προσθήκη αζώτου, όχι όμως σε υπερβολικές ποσότητες γιατί προκαλείται βλαστομανία. Οι συστάσεις λίπανσης που δίνονται ποικίλλουν από περιοχή σε περιοχή. Για παράδειγμα, για την καλλιέργεια

αμπελοφάσουλου (για νωπό λοβό), εάν εφαρμοστεί βασική λίπανση, προτείνεται η προσθήκη 30-40 κιλών/στρ. μικτών λιπασμάτων των τύπων 14-22-9 ή 15-15-15 ή 12-12-12. Άλλοι προτείνουν 2,5-5,0 τον./στρ καλά χωνεμένης κοπριάς κατά την προετοιμασία του εδάφους και ανάμιξη σε όλο τον όγκο του επιφανειακού εδάφους, 1,5 - 5,0 κιλών N/στρ. και 6,0-7,5 κιλών/στρ. από το κάθε ένα P και K. Τα χημικά λιπάσματα προστίθενται λίγο πριν ή κατά τη σπορά, εκτός από το άζωτο το οποίο συνιστάται να προστίθεται το 1/3 κατά τη σπορά και τα 2/3 ως επιφανειακή λίπανση (Ολύμπιος, 2015). Ιδιαίτερα υψηλές είναι οι απαιτήσεις της βίγνας σε φώσφορο και κάλιο κατά το τέλος της περιόδου ανάπτυξής της. Το 80% περίπου του απαιτούμενου φωσφόρου και το 60- 90% του απαιτούμενου καλίου, τα φυτά το παίρνουν κατά τις τελευταίες 30 ημέρες της ανάπτυξης τους. Η χορήγηση των φωσφορούχων και καλιούχων λιπασμάτων πρέπει να γίνεται σε χωράφια που είναι φτωχά στα στοιχεία αυτά (Δαλιάνης, 1983).

### **1.3.7 ΣΥΚΟΜΙΔΗ – ΑΠΟΔΟΣΕΙΣ**

Η περίοδος συγκομιδής των λοβών του αμπελοφάσουλου αρχίζει τον Ιούλιο και ολοκληρώνεται τον Νοέμβριο, με την πτώση της θερμοκρασίας, όταν ακολουθηθεί η πρακτική της διαδοχικής σποράς. Ο συνολικός χρόνος παραμονής της φυτείας στο έδαφος κυμαίνεται μεταξύ 4-5 μηνών και η διάρκεια της συγκομιδής είναι περίπου 2-3 μήνες. Στο διάστημα αυτό γίνονται 25-30 συγκομιδές. Στις περισσότερες περιοχές του κόσμου και μάλιστα όταν πρόκειται για μικρές εκτάσεις, η συγκομιδή των λοβών του αμπελοφάσουλου γίνεται με το χέρι, λόγω των επανειλημμένων συγκομιδών. Η μέθοδος αυτή ακολουθείται και για το μαυρομάτικο φασόλι σε μικρές εκτάσεις και έχει υψηλό κόστος, αλλά οι απώλειες από το τίναγμα των σπερμάτων είναι ελάχιστες, γιατί η συλλογή γίνεται τμηματικά καθώς ωριμάζουν οι λοβοί. Άλλος τρόπος συλλογής των σπερμάτων του μαυρομάτικου φασολιού είναι να ξεριζωθούν ή να κοπούν τα φυτά στη βάση τους και στη συνέχεια να τοποθετηθούν και να παραμείνουν στον αγρό σε στοίβες ωσόντου ξεραθούν, οπότε στη συνέχεια γίνεται ο αλωνισμός. Όταν οι καλλιεργούμενες εκτάσεις είναι σχετικά μεγάλες χρησιμοποιούνται διάφορες μηχανές για την κοπή των φυτών, όπως είναι οι χορτοκοπτικές μηχανές. Η κοπή γίνεται αφού έχουν ωριμάσει τουλάχιστον το 1/2 με 2/3 των λοβών. Παρά το γεγονός ότι στο στάδιο αυτό οι απώλειες από το τίναγμα των σπερμάτων είναι αυξημένες, η ωφέλεια είναι μεγαλύτερη από μία πρωιμότερη κοπή, όπου οι ανώριμοι λοβοί θα είναι πολύ περισσότεροι. Η συγκομιδή της βίγνας που προορίζεται για την παραγωγή σανού γίνεται όταν οι πρώτοι λοβοί αρχίσουν να κιτρινίζουν. Η καλύτερη ποιότητα σανού λαμβάνεται όταν οι λοβοί έχουν πλήρως

αναπτυχθεί και μερικοί από αυτούς έχουν μάλιστα ωριμάσει. Αν καθυστερήσει η συγκομιδή, τα στελέχη γίνονται ξυλώδη και χάνονται μερικά φύλλα, ενώ η πιο πρώιμη συγκομιδή δημιουργεί αρκετές δυσκολίες στην αποξήρανση. Όταν η συγκομιδή γίνει στην κατάλληλη εποχή και γίνει και καλή αποξήρανση ο σανός που λαμβάνεται έχει μεγάλη θρεπτική αξία και τρώγεται ευχάριστα από όλα τα ζώα. Οι αποδόσεις σε σανό κυμαίνονται από 300 μέχρι 500 κιλά/στρέμμα. Συχνά η βίγνα για την παραγωγή σανού συγκαλλιεργείται με άλλα φυτά όπως σόργο για καρπό, σόργο του Σουδάν ή σόγια. Στην περίπτωση αυτή οι αποδόσεις είναι μεγαλύτερες (Summerfield *et al.*, 1974). Σε λίγες περιπτώσεις χρησιμοποιούνται ειδικές μηχανές που συλλέγουν μόνο τους λοβούς από τα φυτά. Απαραίτητη προϋπόθεση για τη χρησιμοποίηση των μηχανών αυτών είναι η γραμμική σπορά και κυρίως η ωρίμανση και ξήρανση των λοβών πάνω στα φυτά. Η βίγνα που προορίζεται για ενσίρωση συνήθως συγκαλλιεργείται ή αναμιγνύεται κατά την ενσίρωση με αραβόσιτο ή σόργο. Η κοπή γίνεται όταν οι πρώτοι λοβοί αρχίζουν να παίρνουν το κίτρινο χρώμα. Σπάνια χρησιμοποιείται η βίγνα για βοσκή. Είναι εξαιρετική για χλωρή λίπανση οπωρώνων. Όχι μόνο αυξάνει τη γονιμότητα του εδάφους, αλλά βελτιώνει και τη φυσική του κατάσταση κάνοντας τα βαριά αργιλώδη πιο ελαφριά και τα αμμώδη πιο συνεκτικά.

### **1.3.8 ΧΡΗΣΕΙΣ ΒΙΓΝΑΣ ΚΑΙ Η ΔΙΑΤΡΟΦΙΚΗ ΑΞΙΑ ΤΗΣ**

Η χρησιμότητα της βίγνας είναι πολύπλευρη. Καλλιεργείται για την παραγωγή καρπών που χρησιμοποιούνται στη διατροφή του ανθρώπου και των ζώων, για την παραγωγή χονδροειδών ζωοτροφών και ως φυτά χλωρής λίπανσης. Είναι από τις πιο θρεπτικές τροφές τόσο για τον άνθρωπο όσο και για τα ζώα. Τα όσπρια έχουν περισσότερες πρωτεΐνες, υψηλής βιολογικής αξίας, από πολλά σιτηρά και ίση σχεδόν περιεκτικότητα σε υδατάνθρακες, περιέχουν επίσης σίδηρο, ασβέστιο και αποτελούν ικανοποιητική πηγή βιταμινών (νιασίνης και θειαμίνης), που είναι αναγκαίες για τον οργανισμό. Παράλληλα είναι από τα πιο φθηνά, από οικονομικής άποψης, προϊόντα και η καλλιέργειά τους είναι σχετικά εύκολη. Σαν ζωοτροφή, είναι εξίσου θρεπτική αφού τα ζώα που τρέφονται με ψυχανθή, δίνουν καλύτερης ποιότητας προϊόντα. Η διατήρησή τους είναι απλή, αφού διατηρούνται χωρίς αλλοιώσεις για μεγάλο χρονικό διάστημα σε μειωμένη υγρασία και θερμοκρασία σε αποθήκες (Παπακώστα - Τασοπούλου, 2005). Καλλιεργείται για τους ανώριμους λοβούς του, τους χλωρούς πράσινους σπόρους (αμπελοφάσουλο), τους ξηρούς σπόρους (όσπριο – μαυρομάτικο φασόλι) και σε ορισμένες χώρες και για τους τρυφερούς βλαστούς και τα φύλλα. Σε πολλές περιοχές του κόσμου, οι πράσινοι βλαστοί και τα

φύλλα της βίγνας αποτελούν σημαντική πηγή σανού υψηλής ποιότητας για τη διατροφή των ζώων (Tarawali *et al.*, 2002). Στην Αφρική, τα τρυφερά πράσινα φύλλα αποτελούν σημαντική πηγή τροφής με υψηλή διατροφική αξία για τον άνθρωπο και καταναλώνονται όπως το σπανάκι και άλλα φυλλώδη λαχανικά (Nielsen *et al.*, 1993). Οι ανώριμοι πράσινοι λοβοί (αμπελοφάσουλο) χρησιμοποιούνται με τον ίδιο τρόπο όπως το πράσινο φασολάκι και συχνά αναμιγνύονται με μαγειρεμένα ξηρά σπέρματα μαυρομάτικου φασολιού ή με άλλα όσπρια. Τα ανώριμα σπέρματα από λοβούς αμπελοφάσουλου βράζονται ως νωπά λαχανικά ή μπορούν να κονσερβοποιηθούν ή να καταψυχτούν. Οι ξηροί ώριμοι σπόροι (μαυρομάτικα φασόλια) είναι επίσης κατάλληλοι για βράσιμο και κονσερβοποίηση (Singh *et al.*, 2006). Το θρεπτικό περιεχόμενο των σπόρων και λοβών της βίγνας είναι σημαντικό, διότι καταναλώνονται σε μεγάλες ποσότητες από εκατομμύρια ανθρώπους σε περιοχές της Αφρικής όπου επικρατεί υποσιτισμός και υπάρχει ανάγκη για παροχή τροφών πλούσιων σε πρωτεΐνες, μέταλλα και βιταμίνες. Το περιεχόμενο των λοβών και σπερμάτων της βίγνας σε θρεπτικά στοιχεία εξαρτάται κυρίως από τον καλλιεργούμενο γονότυπο, καθώς και το κλίμα, τη λίπανση, την εποχή καλλιέργειας και τις καλλιεργητικές πρακτικές (Kochhar *et al.*, 1988). Η διατροφική σύσταση των σπερμάτων της βίγνας (μαυρομάτικο φασόλι) είναι παρόμοια με εκείνη των άλλων οσπρίων, με σχετικά χαμηλή περιεκτικότητα σε λιπαρά και περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες που είναι δύο έως τέσσερις φορές μεγαλύτερη σε σχέση με τα δημητριακά και τα υπόγεια αποθησαυριστικά όργανα. Όπως και σε άλλα όσπρια, η πρωτεΐνη των μαυρομάτικων φασολιών είναι πλούσια στα αμινοξέα λυσίνη και τρυπτοφάνη, σε σύγκριση με σπόρους δημητριακών. Ωστόσο, είναι ελλιπής σε μεθειονίνη και κυστεΐνη σε σύγκριση με ζωικές πρωτεΐνες. Τα μαυρομάτικα φασόλια είναι επίσης μια πλούσια πηγή μετάλλων και βιταμινών (Hall, 2004) και έχουν από τα υψηλότερα επίπεδα σε φολικό οξύ (βιταμίνη B<sub>9</sub>) μεταξύ όλων των τροφίμων, που βοηθά στην πρόληψη ελαττωμάτων σπονδυλικής στήλης σε αγέννητα παιδιά. Τα νεαρά φύλλα, οι λοβοί και οι σπόροι της βίγνας είναι πλούσιες πηγές βιταμινών και ανόργανων στοιχείων (ιδιαίτερα ασβεστίου, μαγνησίου, καλίου και σιδήρου), επομένως μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη βελτίωση της διατροφής των ανθρώπων και των ζώων. Σε σπόρους διαφόρων ποικιλιών μαυρομάτικου φασολιού έχουν προσδιοριστεί τα ακόλουθα στοιχεία: Al, Ca, Mg, V, Mn, Br, Cl, K, Na, Zn, Cu, Ta, Si και I, εκ των οποίων πέντε (Na, K, Mg, Ca και Cl) αποτελούν σημαντικά στοιχεία για τη διατροφή του ανθρώπου και άλλα τέσσερα (Mn, Zn, V, Cu και I) σημαντικά ιχνοστοιχεία (Nielsen *et al.*, 1997, Asante *et al.*, 2007). Όμως, όπως και άλλα όσπρια, τα μαυρομάτικα φασόλια περιέχουν ορισμένους

αντιδιατροφικούς/ αντιδιαιτητικούς παράγοντες (ANFs – antinutritional factors) που περιορίζουν την κατανάλωση και χρήση τους, όπως φυτικό οξύ, αναστολέα τρυψίνης, αιμογλουτίνη, υδροκυάνιο, σαπωνίνες, ταννίνες και φαινολικές ενώσεις καθώς και δύσπεπτους ολιγοσακχαρίτες της οικογένειας της ραφιφνόζης (RFOs – raffinose family oligosaccharides) (Owolabi et al, 2012, Udensi et al, 2007).

### 1.3.9 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ, ΑΓΡΟΝΟΜΙΚΗ ΚΑΙ ΚΟΙΝΩΝΙΚΗ ΣΗΜΑΣΙΑ

Σύμφωνα με στοιχεία του F.A.O. για το έτος 2013, η παγκόσμια έκταση για όλους τους τύπους του φυτού της βίγνας ανέρχεται στα 145 εκ. στρέμματα. Η καλλιέργεια για σπόρο (μαυρομάτικο φασόλι) καταλαμβάνει περίπου 115 εκ. στρέμματα, με παραγωγή 5,5 εκ. μετρικούς τόνους. Το 95% περίπου της συνολικής παραγωγής μαυρομάτικου φασολιού προέρχεται από την Αφρική, ενώ μικρή είναι η παραγωγή στην Ασία και σχεδόν αμελητέα στην Ευρώπη. Όμως, οι στρεμματικές αποδόσεις στην Αφρική είναι πολύ χαμηλές και ανέρχονται μόλις στα περίπου 50 κιλά/στρ., όντας οι χαμηλότερες σε σχέση με τα κυριότερα τροπικής προέλευσης ψυχανθή για σπόρο, όταν στην Ευρώπη είναι σχεδόν 7 φορές υψηλότερες (Πίνακας\_5). Οι αποδόσεις εξαρτώνται από την καλλιεργούμενη ποικιλία, τη δυνατότητα άρδευσης, τις συνθήκες του περιβάλλοντος και τις εφαρμοζόμενες καλλιεργητικές τεχνικές.

Πίνακας\_5 Καλλιεργούμενες εκτάσεις, παραγωγή, απόδοση και ποσοστό του συνόλου της παραγωγής μαυρομάτικου φασολιού σε κάθε ήπειρο κατά το 2013 (F.A.O., 2013)

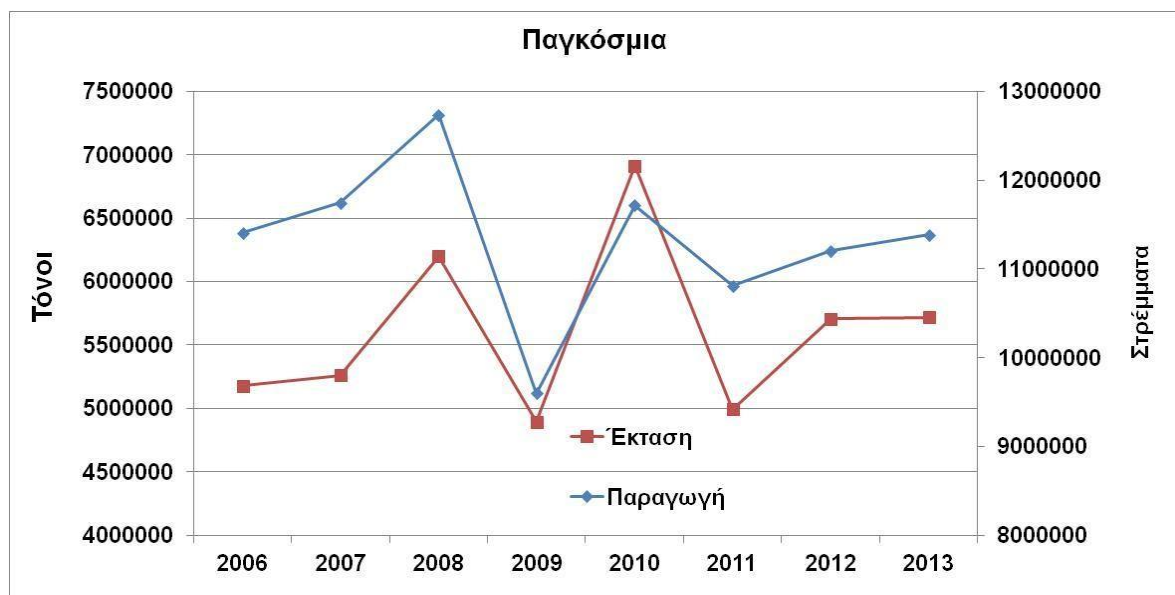
	ΕΚΤΑΣΗ (x1000 στρ.)	ΠΑΡΑΓΩΓΗ (x1000 τον.)	ΑΠΟΔΟΣΗ (kg/στρ.)	%ΣΥΝΟΛΟΥ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
ΑΦΡΙΚΗ	110.751	5.421	48,9	94,8
ΑΜΕΡΙΚΗ	738	79	107	1,4
ΑΣΙΑ	1.604	193	120	3,4
ΕΥΡΩΠΗ	67	24	358	0,4
ΩΚΕΑΝΙΑ	0	0	0	0,0
ΣΥΝΟΛΟ	113.160	5.717	50,5	100

Παγκόσμια, η τάση της καλλιέργειας παρουσιάζει διακυμάνσεις, χωρίς όμως σαφή τάση μείωσης ή αύξησης των καλλιεργούμενων εκτάσεων (Σχήμα\_1: Διαγραμματική απεικόνιση της εξέλιξης της καλλιέργειας της βίγνας παγκόσμια κατά τα έτη 2006-2013 για παραγωγή μαυρομάτικου φασολιού (F.A.O. 2013)). Η σημασία της καλλιέργειας της βίγνας (ιδιαίτερα για παραγωγή μαυρομάτικου φασολιού) στην Αφρική είναι πολύ μεγάλη. Εκτιμάται ότι

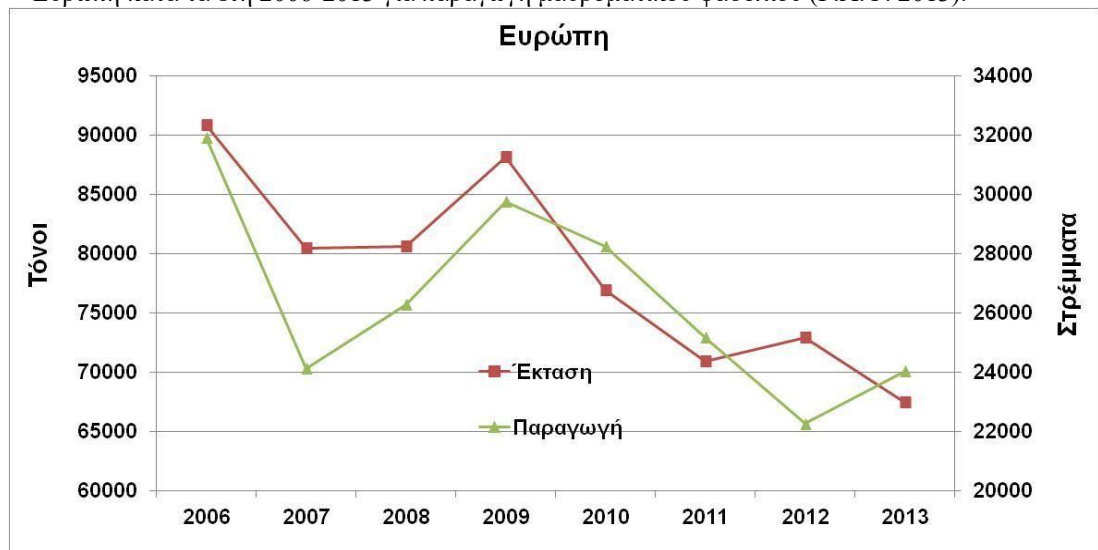


περίπου 38 εκατομμύρια νοικοκυριά (περίπου 194 εκατομμύρια άνθρωποι) καλλιεργούν βίγνα στην υποσαχάρια Αφρική, αλλά η παραγωγή δεν έχει παρουσιάσει ιδιαίτερη αύξηση τα τελευταία 20 χρόνια, με τη συνολική έκταση, παραγωγή και απόδοση να έχουν αυξηθεί μόνο κατά 4,3%, 5,8% και 1,5% αντίστοιχα. Αντίθετα, μικρή είναι η οικονομική σημασία καθώς και η έκταση της καλλιέργειας της βίγνας στην Ευρώπη, στην οποία παρουσιάζεται την τελευταία δεκαετία έντονη τάση μείωση των καλλιεργούμενων εκτάσεων καθώς και της συνολικής παραγωγής (Σχήμα\_2: Διαγραμματική απεικόνιση της εξέλιξης της καλλιέργειας της καλλιέργειας της βίγνας στην Ευρώπη κατά τα έτη 2006-2013 για παραγωγή μαυρομάτικου φασολιού - F.A.O. 2013). Για την Ελλάδα, σύμφωνα με στατιστικά στοιχεία του Υπουργείου Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων το 2012 καλλιεργήθηκαν 232 στρέμματα αμπελοφάσουλου και η παραγωγή ανήλθε στους 184 τόνους, δηλαδή η μέση απόδοση ήταν 793 κιλά/στρ. Παγκόσμια, αναφέρονται αποδόσεις μεταξύ 500-2000 κιλών/στρ. νωπών λοβών αμπελοφάσουλου, ενώ σύμφωνα με δεδομένα της Στατιστικής Υπηρεσίας του Υπουργείου Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων, στην Ελλάδα η μέση απόδοση αμπελοφάσουλου του υποείδους *Vigna unguiculata* ssp. *unguiculata* (κοντοί λοβοί) κυμαίνεται μεταξύ 400–800 κιλών/στρ. νωπών λοβών, όταν στο υποείδος *V. unguiculata* ssp. *sesquipedalis* (πηχιάρικά φασόλια ή μπρατσοφάσουλα ή αμπελοφάσουλα γίγαντες) ανέρχεται στα 1.500-2.000 κιλά/στρ.

Σχήμα\_1: Διαγραμματική απεικόνιση της εξέλιξης της καλλιέργειας της βίγνας παγκόσμια κατά τα έτη 2006-2013 για παραγωγή μαυρομάτικου φασολιού (F.A.O. 2013)



Σχήμα 2: Διαγραμματική απεικόνιση της εξέλιξης της καλλιέργειας της καλλιέργειας της βίγνας στην Ευρώπη κατά τα έτη 2006-2013 για παραγωγή μαυρομάτικου φασολιού (F.A.O. 2013).



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ II

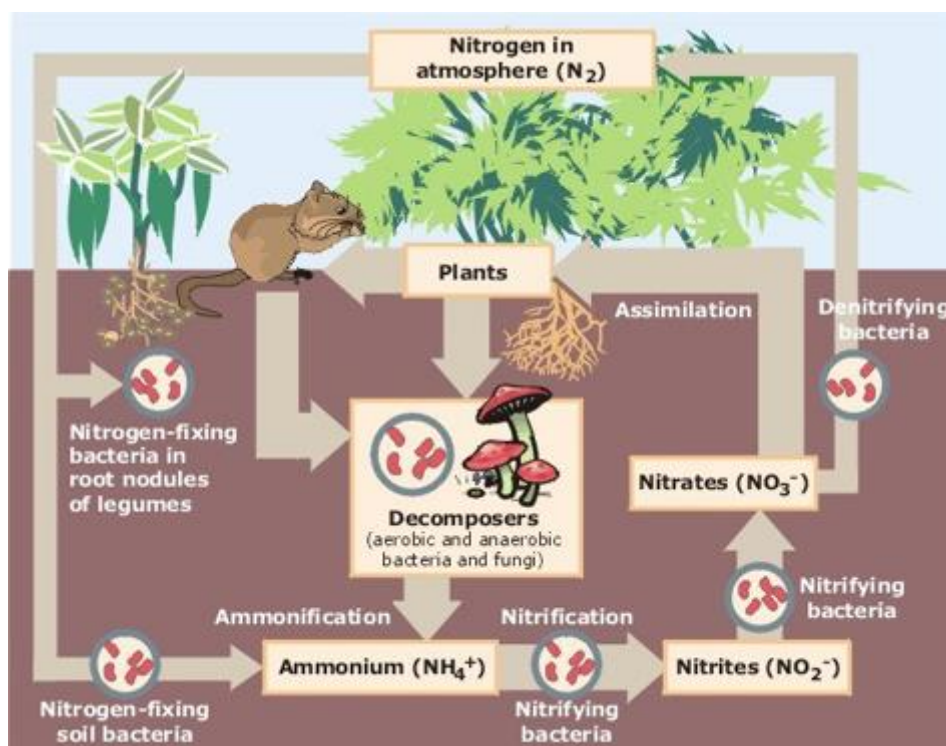
### 2. Ο ΚΥΚΛΟΣ ΤΟΥ ΑΖΩΤΟΥ – ΑΖΩΤΟΔΕΣΜΕΥΣΗ

Το στοιχείο άζωτο (N), το τέταρτο κατά σειρά αφθονίας μετά τον άνθρακα, το οξυγόνο και το υδρογόνο στην οργανική ύλη των οργανισμών, συμμετέχει ως συστατικό σε μεγάλο αριθμό βιομορίων μεγάλης σπουδαιότητας για τη διατήρηση της ζωής στο πλανήτη μας, όπως οι πρωτεΐνες, τα νουκλεϊκά οξέα, πολλοί συμπράγοντες και ποικίλα άλλα μόρια με ιδιαίτερο βιολογικό ρόλο. Αν και η ατμόσφαιρα αποτελείται κατά 78% από μοριακό άζωτο, αυτό δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί με τη μορφή αυτή από την πλειοψηφία των οργανισμών εξαιτίας της χαμηλής χημικής δράσης του (χαρακτηρίζεται αδρανές αέριο). Για να ενσωματωθεί στην οργανική ύλη θα πρέπει αυτό να δεσμευτεί, να αναχθεί και να μετατραπεί σε αμμωνιακή μορφή. Όλοι οι οργανισμοί μπορούν και χρησιμοποιούν στις βιοσυνθέσεις των αζωτούχων ουσιών το  $\text{NH}_4^+$  ιόν, ωστόσο μόνο ορισμένα είδη ελεύθερων ζώντων βακτηρίων ή ειδών βακτηρίων, που συμβιών στις ρίζες των ψυχανθών ή και άλλων φυτικών ειδών, μπορούν να δεσμεύσουν και να ανάγουν το ατμοσφαιρικό άζωτο. Η σπανιότητα των αζωτούχων ουσιών στο περιβάλλον επιβάλλει στους οργανισμούς να λειτουργούν με τη μέγιστη οικονομία αζώτου και τα διάφορα αζωτούχα τελικά προϊόντα του καταβολισμού κατά κανόνα ανακυκλώνονται και επαναχρησιμοποιούνται. Μόνο οι ζωικοί οργανισμοί διαθέτουν οργανωμένα συστήματα απομάκρυνσης της περίσσειας του αζώτου, ενώ οι ίδιοι οργανισμοί σε συνθήκες μειωμένης διαθεσιμότητας σακχάρων και λιπαρών οξέων χρησιμοποιούν ως πηγές ενέργειας τα αμινοξέα, τα οποία διασπούν πλήρως σε  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{CO}_2$  και  $\text{H}_2\text{O}$ . Η αλληλεξάρτηση των οργανισμών όσον αφορά την κάλυψη των αναγκών τους σε άζωτο είναι σημαντική, όπως άλλωστε συμβαίνει και με την κάλυψη των αναγκών τους σε όλα τα θρεπτικά στοιχεία. Δύο υδατοδιαλυτές ανόργανες μορφές αζώτου, το νιτρικό ( $\text{NO}_3^-$ ) και το αμμωνιακό ( $\text{NH}_4^+$ ) άζωτο, όπως επίσης και μια οργανική μορφή, τα αμινοξέα, λειτουργούν ως συνδετικοί κρίκοι ροής αζώτου μεταξύ των οργανισμών. Η είσοδος του ατμοσφαιρικού αζώτου στην οργανική ύλη επιτυγχάνεται με τη δέσμευση και την αναγωγή του σε αμμωνιακή μορφή με τη βοήθεια του ενζυμικού συμπλόκου νιτρογενάση των αζωτοδεσμευτικών βακτηρίων που απαντούν στο έδαφος, στα γλυκά νερά και στους ωκεανούς. Η διαδικασία αζωτοδέσμευσης. Το αμμωνιακό άζωτο στη συνέχεια χρησιμοποιείται από τα φυτά και άλλους οργανισμούς στη σύνθεση των αζωτούχων ουσιών τους. Στην πραγματικότητα ολόκληρη η ποσότητα των αμμωνιακών ιόντων (αυτών

της σαπροφυτικής δράσης και αυτών που προστίθενται στο έδαφος με τη μορφή αζωτούχων λιπασμάτων) οξειδώνεται σε νιτρώδη ( $\text{NO}_2^-$ ) και τελικά σε νιτρικά ( $\text{NO}_3^-$ ) ιόντα από μια ομάδα βακτηρίων που απαντούν σε μεγάλους πληθυσμούς στη βιόσφαιρα, τα νιτροποιητικά βακτήρια. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται νιτροποίηση. Τα φυτά με τη σειρά τους προσλαμβάνουν τα νιτρικά ιόντα, τα οποία ανάγουν σε νιτρώδη και τελικά σε αμμωνιακά ιόντα με τη δράση δύο ενζύμων των κυττάρων τους, τη νιτρική αναγωγή και τη νιτροδοαναγωγή. Το αμμωνιακό ιόν που παράγεται, χρησιμοποιείται στη συνέχεια για τη σύνθεση των οργανικών τους ουσιών. Επομένως τα φυτά μπορούν να τραφούν και να χρησιμοποιήσουν ως πηγές αζώτου τόσο τα αμμωνιακά όσο και τα νιτρικά ιόντα. Ωστόσο τόσο τα φυτά όσο και οι μικροοργανισμοί που τρέφονται με τις δύο αυτές μορφές αζώτου, όπως όλοι οι οργανισμοί, ενσωματώνουν το άζωτο στην οργανική τους ύλη με την αμμωνιακή του μορφή. Οι φυτοφάγοι ζωικοί οργανισμοί χρησιμοποιούν τα φυτά ως πηγές αμινοξέων προκειμένου να συνθέσουν τις πρωτεΐνες τους ή άλλες αζωτούχες ουσίες, ενώ οι σαρκοφάγοι χρησιμοποιούν άλλους ζωικούς οργανισμούς για τον ίδιο σκοπό. Με τον θάνατο τους, οι νεκροί οργανισμοί χρησιμοποιούνται ως πηγές αζώτου από μια κατηγορία οργανισμών, των σαπροφυτικών (κυρίως μυκήτων και βακτηρίων), με αποτέλεσμα την απελευθέρωση αμμωνιακών ιόντων στο περιβάλλον. Η διαδικασία ονομάζεται αμμωνιοποίηση ή ανοργανοποίηση οργανικού αζώτου. Το ισοζύγιο μεταξύ διαφόρων μορφών αζώτου (ανόργανων και οργανικών) και του ατμοσφαιρικού αζώτου διατηρείται σταθερό με τη δράση των απονιτροποιητικών βακτηρίων που μετατρέπουν το νιτρικό άζωτο σε αέριες μορφές αζώτου που επιστρέφουν στην ατμόσφαιρα και η διαδικασία ονομάζεται απονιτροποίηση (Εικόνα\_8: Σχηματική απεικόνιση κύκλου του αζώτου). Την ξεχωριστή ικανότητα αυτών των μικροοργανισμών ο άνθρωπος την εκμεταλλεύεται για τη μείωση της συσσώρευσης ανόργανων μορφών αζώτου και τη μετατροπή τους σε αέριες μορφές, όπως στους βιολογικούς σταθμούς επεξεργασίας λυμάτων. Για περισσότερο από 3,5 δισεκατομμύρια χρόνια η ομαλή λειτουργία του κύκλου του αζώτου εξασφάλισε μια ισόρροπη σχέση μεταξύ του ατμοσφαιρικού αζώτου και του αζώτου της βιόσφαιρας, γεγονός που επέτρεψε τη γένεση, την επιβίωση, τον πολλαπλασιασμό και την εξέλιξη των ειδών του πλανήτη μας. Ωστόσο ο άνθρωπος στην προσπάθειά του για ποσοτική αύξηση των φυτικών και ζωικών προϊόντων για την κάλυψη των διατροφικών αναγκών του αυξανόμενου πληθυσμού της γης επιτάχυνε σημαντικά την είσοδο του ατμοσφαιρικού αζώτου στη βιόσφαιρα. Με τη βιομηχανική δέσμευση του αζώτου, διαδικασία κατά την οποία δαπανώνται μεγάλες ποσότητες ενέργειας, ο άνθρωπος παράγει τεράστιες ποσότητες

αζωτούχων λιπασμάτων για τη λίπανση των καλλιεργειών, με αποτέλεσμα τα υπόγεια νερά να εμπλουτίζονται με νιτρικά ιόντα με αρνητικές συνέπειες.

Εικόνα\_8: Σχηματική απεικόνιση κύκλου του αζώτου



Η βιολογική μετατροπή του αμμωνιακού αζώτου του εδάφους σε νιτρικά ιόντα ονομάζεται νιτροποίηση. Η νιτροποίηση των αμμωνιακών ιόντων πραγματοποιείται σε δύο στάδια, καθένα από οποία καταλύεται από τα ενζυμικά συστήματα των αερόβιων χημειολιθότροφων βακτηρίων του γένους *Nitrosomonas* και του γένους *Nitrobacter*. Σε πρώτο στάδιο, με τη δράση των βακτηρίων του γένους *Nitrosomonas*, το αμμωνιακό ιόν οξειδώνεται σε νιτρώδες ιόν που απελευθερώνεται στο περιβάλλον. Παράλληλα στη διαδικασία παράγονται πρωτόνια που επίσης απελευθερώνονται στο περιβάλλον και προκαλούν οξίνιση του εδάφους, σύμφωνα με την γενική εξεργονική αντίδραση:



Σε δεύτερο στάδιο, το νιτρώδες ιόν, με τη δράση των βακτηρίων του γένους *Nitrobacter*, οξειδώνεται σε νιτρικό ιόν που επίσης απελευθερώνεται στο περιβάλλον, σύμφωνα με γενική εξεργονική αντίδραση:



Τα βακτήρια αυτά ονομάζονται νιτροποιητικά βακτήρια και σε αυτά τα αμμωνιακά και τα νιτρώδη ιόντα χρησιμοποιούνται ως ουσίες πλούσιες σε ενέργεια και αποτελούν ταυτόχρονα τους μοναδικούς δότες ηλεκτρονίων, τα οποία διαμέσου μιας αναπνευστικής

αλυσίδας οδηγούνται στο οξυγόνο. Τα νιτροποιητικά βακτήρια είναι αυτότροφοι οργανισμοί και χρησιμοποιούν το CO<sub>2</sub> της ατμόσφαιρας για τη σύνθεση των οργανικών τους μορίων, όπως οι φωτοσυνθετικοί οργανισμοί. Σε αντίθεση με αυτούς, δεν χρησιμοποιούν την ηλιακή ενέργεια, αλλά την ενέργεια που προέρχεται από τις εξεργονικές αντιδράσεις που αναφέρθηκαν παραπάνω. Τα παραγόμενα στο έδαφος νιτρικά ιόντα ή αυτά που προστίθενται με τη μορφή νιτρικών λιπασμάτων είτε χρησιμοποιούνται από τα φυτά είτε εκπλύνονται με τα νερά της βροχής ή της άρδευσης προς τα κατώτερα στρώματα του εδάφους, με τελικό αποτέλεσμα τον εμπλουτισμό των υπόγειων υδάτων σε νιτρικά ιόντα (το φαινόμενο ονομάζεται νιτρορύπανση), ή με τη δράση κατάλληλων μικροοργανισμών και σε κατάλληλες συνθήκες μετατρέπονται σε αμμωνιακά ιόντα ή σε αέριες μορφές αζώτου και έτσι το άζωτο επιστρέφει στην ατμόσφαιρα. Στην τελευταία περίπτωση η διαδικασία ονομάζεται απονιτροποίηση. Ο όρος απονιτροποίηση χρησιμοποιείται γενικότερα για να περιγράψει κάθε βιολογική μετατροπή των νιτρικών και νιτρικών ιόντων σε αέριες μορφές αζώτου. Μεταξύ των αέριων μορφών αζώτου, η N<sub>2</sub>O μορφή καταστρέφει το όζον της ατμόσφαιρας και για αυτό τον λόγο η μείωση της συσσώρευσης νιτρικών ιόντων στη βιόσφαιρα είναι ζωτικής σημασίας για τον πλανήτη μας.

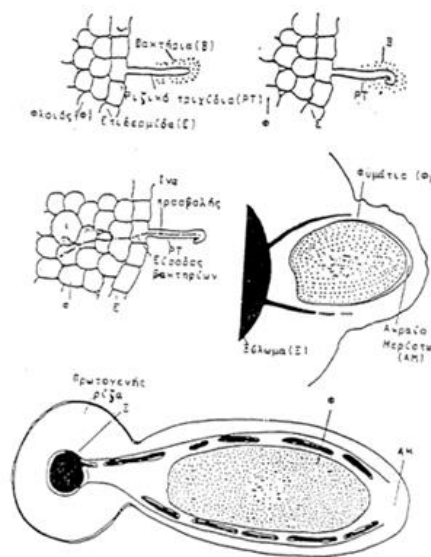
## **2.1 ΣΤΑΔΙΑ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ ΦΥΜΑΤΙΩΝ**

Στη συμβίωση αυτή, το φυτό ξενιστής (το ψυχανθές) εφοδιάζει το βακτήριο (*Rhizobium*) με ενέργεια (ATP, NADPH) και το βακτήριο σε αντάλλαγμα εξασφαλίζει στον ξενιστή άζωτο από τον ατμοσφαιρικό αέρα. Σήμερα είναι πια καλά γνωστό, ότι υπάρχουν γενετικοί ή χημικοί παράγοντες στα κυτταρικά τοιχώματα των ριζών των ψυχανθών ή των βακτηρίων ή και στα δύο, που καθορίζουν τη συγγένεια ανάμεσα στο ψυχανθές και το είδος ή τη φυλή του βακτηρίου. Με άλλα λόγια καθορίζουν το αν θα σχηματισθούν ή όχι φυμάτια, πάνω στις ρίζες και αν τελικά θα γίνει εκεί ή όχι, η δέσμευση του ατμοσφαιρικού αζώτου. Δηλαδή το ασυμβίβαστο (έλλειψη συγγένειας), μεταξύ ενός ψυχανθούς και ενός είδους ή φυλής *Rhizobium*, έχει σαν αποτέλεσμα είτε να μην σχηματισθούν φυμάτια πάνω στις ρίζες, είτε να σχηματισθούν, αλλά να μην έχουν την ιδιότητα (το μηχανισμό) να δεσμεύουν το ατμοσφαιρικό άζωτο. Ο σχηματισμός των φυματίων μπορεί να θεωρηθεί ότι περιλαμβάνει πέντε στάδια στη σειρά, όπως παρουσιάζεται και στην Εικόνα\_9:

- Σχηματισμός των ριζικών τριχιδίων.
- Συγκέντρωση και πολλαπλασιασμός ενός πληθυσμού *Rhizobium*, κοντά και γύρω στην επιφάνεια των ριζικών τριχιδίων, στη ριζόσφαιρα.

- Κάμψη της άκρης του ριζικού τριχιδίου σε σχήμα «άγκιστρο», από ερεθισμό του βακτηρίου.
- Είσοδος του βακτηρίου στο ριζικό τριχίδιο και ανάπτυξη « ινών προσβολής » από το φυτό.
- Σχηματισμός των φυματίων.

Εικόνα\_9: Σχηματική απεικόνιση σχηματισμού φυματίων (Πηγή: Παλάτος Γ. Κυκενίδης Ι., 2006)



## 2.2 ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΦΥΜΑΤΙΩΝ

Διάφοροι μορφολογικοί τύποι και μεγέθη φυματίων έχουν καταγραφεί στα ψυχανθή και τοποθετούνται σε δύο κατηγορίες: τα σφαιρικά που έχουν περιορισμένη ανάπτυξη και τα επιμήκη που παρουσιάζουν συνεχιζόμενη ανάπτυξη. Το είδος της ανάπτυξης των φυματίων εξαρτάται από το είδος του μεριστώματος που τα δημιουργεί. Εάν στο μερίστωμα σταματήσει νωρίς η κυτταροδιαίρεση, τα φυμάτια παίρνουν σφαιρική μορφή, εάν όμως το μερίστωμα είναι ενεργό για μεγάλο χρονικό διάστημα τα φυμάτια γίνονται επιμήκη. Διάφορες μεταξύ των ειδών των ψυχανθών παρατηρούνται και ως προς την κατανομή των φυματίων στο ριζικό σύστημα. Μελέτες έχουν δείξει ότι ο τύπος των παραγομένων φυματίων καθορίζεται από το φυτό ξενιστή και όχι από τα ριζόβια. Στη σόγια και στον αρακά για παράδειγμα τα φυμάτια έχουν σχήμα σφαιρικό, στην αραχίδα στρογγυλό σιαμαίο, στα κουκιά ελαφρώς επίμηκες, στη μηδική είναι διχαλωτά και μικρά. Ο αριθμός των φυματίων που σχηματίζονται εξαρτάται τόσο από το γενότυπο του φυτού

και του ριζόβιου όσο και από τις συνθήκες του περιβάλλοντος. Η ποσότητα του αζώτου που δεσμεύεται δεν είναι ανάλογη του αριθμού των σχηματισμένων φυματίων, γιατί ρόλο στην αζωτοδέσμευση παίζει η δραστηριότητα των φυματίων.

### **2.3 ΣΗΜΑΣΙΑ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ ΦΥΜΑΤΙΩΝ**

Κοινό χαρακτηριστικό όλων των ψυχανθών αποτελεί η ικανότητά τους να αζωτοδεσμεύουν, μέσω την ικανότητας που έχουν να συμβιώνουν με βακτήρια και να σχηματίζουν φυμάτια στις ρίζες τους. Σε κάθε φυμάτιο απαντώνται πολυάριθμα βακτήρια των γενών *Rhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Sinorhizobium* κ.ά. Τα αζωτοβακτήρια αυτά είναι αερόβια και έχουν την ικανότητα να δεσμεύουν το ατμοσφαιρικό άζωτο που αφ' ενός μεν αποβαίνει χρήσιμο στα φυτά των ψυχανθών, αφ' ετέρου δε εμπλουτίζεται με άζωτο το έδαφος και ωφελούνται οι επόμενες καλλιέργειες (Δαλιάνης, 1993). Η συμβίωση ψυχανθών - ριζοβίων είναι εξειδικευμένη, δηλαδή ένα είδος ριζόβιου δεν αναπτύσσει συμβιωτικές σχέσεις με όλα τα ψυχανθή. Τα ριζόβια παρουσιάζουν διαφορετικό βαθμό εξειδίκευσης. Ορισμένα έχουν μεγάλη εξειδίκευση και σχηματίζουν φυμάτια με τα είδη ενός και μόνο γένους ή με ορισμένα είδη ενός γένους, ενώ άλλα συμβιώνουν με είδη πολλών γενών. Επιπλέον μέσα σε κάθε είδος ριζοβίου, τα διάφορα στελέχη παρουσιάζουν διαφορετική αποτελεσματικότητα αζωτοδέσμευσης και μάλιστα αυτή η αποτελεσματικότητα των στελεχών εξαρτάται από το φυτό ξενιστή με το οποίο συμβιώνουν (Caldwell and Vest, 1970; Papakosta, 1989; Embalomatis et al., 1994). Γενικά τα ριζόβια ταξινομούνται ως ταχείας ή βραδείας ανάπτυξης με βάση την ταχύτητα ανάπτυξής τους σε εργαστηριακές συνθήκες. Η ομάδα της βίγνας περιλαμβάνει διάφορα τροπικά και υποτροπικά είδη ψυχανθών, τα οποία αζωτοδεσμεύουν με ένα πλήθος ριζοβίων του γένους *Bradyrhizobium ssp.* (Δαλιάνης, 1993), ενώ η ομάδα ριζοβίων της βίγνας είναι συμβατή με πληθώρα άλλων ψυχανθών όπως τα είδη *Cajanus cajan*, *Arachis hypogaea*, *Phaseolus lunatus*, *Lablab purpureus* κ.ά.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΙΙΙ

### 3. ΥΔΡΟΠΟΝΙΑ

#### 3.1 ΟΡΙΣΜΟΣ

Ο όρος υδροπονία (hydroponics) επικράτησε, έπειτα από πρόταση του William Albert Setchell, διάσημου βοτανολόγου. Όπως είναι φανερό, προέρχεται από τις ελληνικές λέξεις ύδωρ και πόνημα. Αφορά δηλαδή, την καλλιέργεια φυτών με τη χρήση θρεπτικών διαλυμάτων σε νερό, εκτός του εδάφους ή εδαφικών μιγμάτων. Αναφέρεται, μερικές φορές, και ως χημική καλλιέργεια, τεχνητή καλλιέργεια, ανέδαφος καλλιέργεια και υδροκαλλιέργεια. Ο πιο γνωστός και διαδεδομένος όρος διεθνώς όμως, είναι η ελληνική λέξη, υδροπονία. Υπάρχουν δύο βασικές κατηγορίες υδροπονικών καλλιεργειών. Αυτές που γίνονται πάνω σε υδατικό διάλυμα ανόργανων αλάτων, το οποίο χρησιμοποιείται από το φυτό ως θρεπτικό διάλυμα, ενώ αυτό είτε παραμένει στάσιμο, είτε επανακυκλοφορεί είτε ψεκάζεται στο ριζικό σύστημα.

#### 3.2 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ – ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

Η πρακτική της υδροπονίας παρουσιάζει σημαντικά πλεονεκτήματα έναντι των συμβατικών καλλιεργειών, αλλά θα πρέπει να τονισθεί ότι σε καμιά περίπτωση δεν σημαίνει ότι τα πλεονεκτήματα αναφέρονται σε όλα τα συστήματα ή σε όλα τα υποστρώματα που χρησιμοποιούνται, καθώς υπάρχει σημαντική διαφοροποίηση μεταξύ των συστημάτων και του βαθμού αυτοματοποίησης που εφαρμόζεται σε κάθε σύστημα.

Με τον ακριβή έλεγχο της διατροφής των φυτών, επιτυγχάνονται υψηλότερες αποδόσεις, βελτιωμένη εμφάνιση του κηπευτικού, καθώς εξοικονόμηση θρεπτικών στοιχείων. Καθώς η καλλιέργεια αναπτύσσεται σε ένα ελεγχόμενο περιβάλλον (pH, ηλεκτρική αγωγιμότητα, περιεκτικότητα σε θρεπτικό διάλυμα, θερμοκρασία, οξυγόνο), οι ρίζες αντλούν όλα εκείνα τα θρεπτικά συστατικά, ανάλογα με τις ανάγκες της καλλιέργειας. Εξασφαλίζοντας την ομοιομορφία θρεπτικών στοιχείων που υπάρχουν στο θρεπτικό διάλυμα, ο καλλιεργητής παρεμβαίνει διορθωτικά, όταν χρειαστεί και προσαρμόζει την αναλογία των θρεπτικών στοιχείων στο διάλυμα, με σκοπό τη βέλτιστη απορρόφηση των χρήσιμων εκείνων στοιχείων που έχει ανάγκη το φυτό, ανάλογα το στάδιο ανάπτυξής του. Μια τέτοια δυνατότητα, ελέγχου του επιπέδου των θρεπτικών στοιχείων, δεν υπάρχει, με ακρίβεια, στις καλλιέργειες στο έδαφος. Επίσης, βλαβερά στοιχεία, τα οποία πάνω από ορισμένες συγκεντρώσεις προκαλούν προβλήματα στα φυτά, μπορούν να κρατηθούν σε ασφαλείς

συγκεντρώσεις (πχ. Mn, B, Zn, Cu, Pb κ.α.). Το pH του διαλύματος ελέγχεται εύκολα και με ακρίβεια, ενώ η δειγματοληψία και ο έλεγχος του θρεπτικού διαλύματος είναι απλές διαδικασίες. Σε ορισμένα συστήματα καλλιέργειας εκτός εδάφους, όπως το N.F.T. κι άλλα πραγματικά υδροπονικά συστήματα εφαρμόζεται αυστηρός έλεγχος & οικονομία της παροχής νερού. Σε ένα κλειστό σύστημα, οι ρίζες των φυτών είναι εμβαπτισμένες στο υδατικό θρεπτικό διάλυμα, το οποίο επανακυκλοφορεί και έτσι επιτυγχάνεται, αναμφίβολα, οικονομία νερού, γιατί και η στράγγιση και η εξάτμιση από την επιφάνεια περιορίζονται σημαντικά από την κατασκευή και λειτουργία του συστήματος. Η απουσία εδάφους αποκλείει τον κίνδυνο των εδαφογενών παθογόνων οργανισμών κι εντόμων καθώς και των ζιζανίων. Έτσι, δεν εφαρμόζονται χημικές τεχνικές καταπολέμησής τους, γεγονός που θα αύξανε το συνολικό κόστος παραγωγής και θα μείωνε, ενδεχομένως, την ποιότητα της καλλιέργειας. Για την αντικατάσταση των φυτοφαρμάκων και μυκητοκτόνων, οι καλλιεργητές υδροπονίας συνήθως χρησιμοποιούν IPM (Integrated Pest Management - Ολοκληρωμένη Διαχείριση Παρασίτων). Πέρα από τους εδαφικούς κινδύνους, η υδροπονία παρουσιάζεται ως ιδιαίτερα δελεαστική πρόταση, όταν υπάρχουν ακατάλληλες εδαφικές συνθήκες καλλιέργειας (πχ. υποβαθμισμένης γονιμότητας εδάφη λόγω υπερντατικής τους εκμετάλλευσης ή μολυσμένα, βραχώδεις εκτάσεις, περιοχές νησιών με αυξημένη συγκέντρωση αλάτων στο έδαφος). Ένα ακόμη πολύ σημαντικό πλεονέκτημά τους είναι τα μειωμένα εργατικά που απαιτεί το εγχείρημα της υδροπονικής καλλιέργειας. Εξοικονομούνται έτσι, πόροι από τα έξοδα εργατικών, εφόσον απουσιάζουν εργασίες όπως η κατεργασία, η απολύμανση των εδαφών, η καταπολέμηση των ζιζανίων. Πόροι, επίσης εξοικονομούνται σε σύγκριση με μια συμβατική καλλιέργεια στο έδαφος, από την εύκολη και χαμηλού κοστολογίου, απολύμανση του υποστρώματος και του εξοπλισμού του υδροπονικού συστήματος ενώ παράλληλα εξοικονομείται και χρόνος, αφού η επόμενη καλλιέργεια μπορεί να εγκατασταθεί 24 ώρες μετά την απολύμανση.

Βασικό μειονέκτημα αποτελεί το αρχικό κόστος επένδυσης και εγκατάστασης, ενός υδροπονικού θερμοκηπίου, κυρίως όσον αφορά την κατασκευή και τη διαχείριση του συστήματος, συγκριτικά με την καλλιέργεια στο έδαφος. Απαιτείται μεγάλο κεφάλαιο λοιπόν, ώστε να εξασφαλιστεί προηγμένη τεχνολογία με μηχανισμούς και αυτοματισμούς για την ρύθμιση της σωστής κυκλοφορίας του θρεπτικού διαλύματος, αυτόματο πότισμα, ρύθμιση περιβάλλοντος, καθώς και από την εξασφάλιση ορθής λειτουργίας του χώρου που περιβάλλει ή και εμπερικλείει την καλλιέργεια όπως κλίση εδάφους για εύκολη αποστράγγιση. Ένα ακόμη μειονέκτημα αποτελεί η αποκλειστική συνεργασία με

ειδικευμένο προσωπικό για την τήρηση των απαραίτητων υδροπονικών συνθηκών, καθώς και των περιβαλλοντικών συνθηκών. Η αντίδραση σε τυχόν λανθασμένους ή άστοχους καλλιεργητικούς χειρισμούς είναι ταχύτερη, συχνότερη και εντονότερη συγκριτικά με τις καλλιέργειες στο έδαφος. Απαιτείται μεγαλύτερος βαθμός τεχνικής επιδεξιότητας και καλή γνώση των επιπτώσεων των παραγόντων του περιβάλλοντος στην ανάπτυξη και παραγωγή των φυτών, ενώ παράλληλα πρέπει να παρέχεται κατάλληλη τεχνική υποστήριξη από ειδικευμένο σύμβουλο-γεωπόνο. Τέλος, στα κλειστά συστήματα ελλοχεύει ο κίνδυνος μόλυνσης του θρεπτικού διαλύματος και κατά συνέπεια προσβολή όλων των φυτών του συστήματος.

### **3.3 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΥΔΡΟΠΟΝΙΑΣ**

Υπάρχουν δύο βασικές κατηγορίες υδροπονικών καλλιεργειών – στα ανοικτά και στα κλειστά υδροπονικά συστήματα. Ως ανοικτό χαρακτηρίζεται ένα υδροπονικό σύστημα όταν το μέρος του θρεπτικού διαλύματος που απορρέει ως πλεονάζον από το χώρο των ριζών, δε συλλέγεται, αλλά αφήνεται στο περιβάλλον. Αντίθετα, κλειστό χαρακτηρίζεται κάθε υδροπονικό σύστημα στο οποίο το πλεονάζον θρεπτικό διάλυμα συλλέγεται, ανανεώνεται και επαναχρησιμοποιείται. Υπάρχει, δηλαδή, μια συνεχής ανακύκλωση του θρεπτικού διαλύματος. Για να είναι εφικτή αυτή η ανακύκλωση πρέπει να υπάρχει κατάλληλο δίκτυο συλλογής του απορρέοντος θρεπτικού διαλύματος από κανάλια. Μέσω αυτού του κλειστού συστήματος αγωγών, το συλλεγόμενο διάλυμα επιστρέφει ξανά στην κεφαλή του συστήματος παροχής θρεπτικού.

### **3.4 ΥΠΟΣΤΡΩΜΑΤΑ ΥΔΡΟΠΟΝΙΑΣ & ΟΙ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥΣ**

Ερευνώντας την καλλιέργεια των στερεών υποστρώματων φαίνεται ότι επιτελούν επιτυχώς τη βασική λειτουργία, η οποία για τα υποστρώματα είναι η εξασφάλιση καλής και ισόρροπης θρέψης στα φυτά (Σάββας, 2009). Τα υποστρώματα είναι πορώδη υλικά, χωρίς παράγοντες φυτοτοξικότητας και χρησιμοποιούνται για να υποκαταστήσουν το έδαφος, ως μέσο ανάπτυξης του ριζικού συστήματος. Αυτά, διαχωρίζονται σε υποστρώματα ανόργανων και υποστρώματα οργανικών υλικών. Τα υποστρώματα ανόργανων υλικών διαχωρίζονται σε φυσικά και συνθετικά υλικά κι είναι είτε χημικά αδρανή (ΧΑ) είτε χημικά ενεργά (ΧΕ). Στα φυσικά ανόργανα υποστρώματα περιλαμβάνονται: η άμμος (ΧΑ), το χαλίκι (ΧΑ), ο πετροβάμβακας (ΧΑ), ο υαλοβάμβακας (ΧΑ), ο περλίτης (ΧΑ), η ελαφρόπετρα (ΧΑ), ο βερμικουλίτης (ΧΕ), ζεόλιθος (ΧΕ), η διογκωμένη άργιλος (ΧΕ), κ.ά. Στα συνθετικά ανόργανα υποστρώματα περιλαμβάνονται οι πλάκες πολυουρεθάνης (ΧΑ), το hydrogel (ΧΑ) κ.ά. Στα οργανικά περιλαμβάνονται υλικά όπως το πριονίδι, η

τύρφη, το μαλλί, τα στέμφυλα, οι ίνες κοκκοκαρύδας, φλοιός πεύκου, κομπόστ κ.ά. και είναι χημικά ενεργά υλικά. Ένα υπόστρωμα πρέπει να πληροί τα κατωτέρω χαρακτηριστικά:

1. Να είναι αδρανές, για να μην αντιδρά με το θρεπτικό διάλυμα
2. Να έχει ουδέτερο pH
3. Να έχει υψηλό πορώδες
4. Να είναι χαμηλής πυκνότητας υλικό
5. Να είναι υδρόφιλο
6. Να είναι απαλλαγμένο από φυτοασθένειες, ακαθαρσίες, βαρέα μέταλλα και ραδιενεργά στοιχεία
7. Να μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη φυσική του μορφή χωρίς να υπάρχει ανάγκη περαιτέρω επεξεργασίας του
8. Να υπάρχει η δυνατότητα παραγωγής ή εξόρυξης από βιομηχανία
9. Να έχει σταθερή ποιότητα χωρίς υποβάθμιση των φυσικών του ιδιοτήτων κατά τη χρήση
10. Να έχει τουλάχιστον τριετή διάρκεια ζωής
11. Να είναι εύχρηστο
12. Να είναι χαμηλού κόστους
13. Να επαναανακυκλώνεται ή να καταστρέφεται χωρίς προβλήματα
14. Να εμφανίζει ανθεκτικότητα σε επανειλημμένες αποστειρώσεις, δίχως να καταστρέφεται ή να αλλάζει η ποιότητά του.

Υποστρώματα που διαθέτουν την πλειοψηφία των ανωτέρω χαρακτηριστικών είναι: ο πετροβάμβακας, ο περλίτης, το σφουγγάρι πολυουρεθάνης, οι κόκκοι αργίλου, η ελαφρόπετρα, η τύρφη, η άμμος κ.α. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται σήμερα σε εμπορική κλίμακα διακρίνονται στις παρακάτω κατηγορίες (Ολύμπιος Χ. 2001)

Για τους σκοπούς του πειράματος, χρησιμοποιήθηκε διογκωμένος περλίτης.

Ο περλίτης είναι ηφαιστειακό, υαλώδες αργιλοπυριτικό πέτρωμα λευκού χρώματος, το οποίο περιέχει και κρυσταλλικό νερό σε ποσοστό 2-6%. Το πρωτογενές ορυκτό, όταν θερμανθεί για σύντομο χρόνο στους 1200-1300°C, διογκώνεται και σχηματίζει μια αφρώδη μάζα δεκαπλασίου έως εικοσαπλασίου περίπου όγκου από τον αρχικό.

Η διόγκωση οφείλεται στο κρυσταλλικό νερό, το οποίο με τη θέρμανση ατμοποιείται, αποκτά υψηλή τάση και καθώς τα πυκνά τοιχώματα των φυσαλίδων δεν επιτρέπουν στον ατμό να διαφύγει, επέρχεται διόγκωση. Η ιδιότητα του αυτή χρησιμοποιείται από την

βιομηχανία για την δημιουργία ενός κοκκώδους υλικού με πλούσιο πορώδες, το οποίο έχει μεγάλη ικανότητα συγκράτησης νερού. Το νερό συγκρατείται κυρίως στους μικρούς πόρους, ενώ στους μεγαλύτερους που υπάρχουν μεταξύ των κόκκων του περλίτη παραμένει αέρας και μετά την διαβροχή του υλικού. Στην Ελλάδα υπάρχουν σημαντικά κοιτάσματα περλίτη στα νησιά Μήλο, Αντίπαρο, Νίσυρο, Κω. Σήμερα ο ελληνικός περλίτης προέρχεται κυρίως από τη Μήλο. Το μέγεθος των κόκκων που συνιστάται για υδροπονία είναι διαμέτρου 6-4 mm. Το ολικό πορώδες του περλίτη ανέρχεται στο 95%, η ικανότητα συγκράτησης νερού σε 200- 450% του βάρους του (ανάλογα με τη κοκκομετρική του σύσταση) και το ειδικό του βάρος στα 40-150 Kg/m<sup>3</sup>.

#### Επιθυμητά Χαρακτηριστικά Υποστρώματος Περλίτη

- Ικανοποιητική συγκράτηση υγρασίας
- Επαρκής αερισμός
- Σταθερή δομή – ομοιομορφία
- Απαλλαγμένο από παθογόνα και ζιζάνια
- Εύκολο στη χρήση
- Χαμηλό κόστος
- Φιλικό στο Περιβάλλον

#### Πλεονεκτήματα Περλίτη ως Υπόστρωμα

- Έχει ουδέτερο pH (7,0) που παραμένει σταθερό καθ' όλη τη διάρκεια ζωής του
- Είναι εντελώς απαλλαγμένος ασθενειών και σπόρων ζιζανίων
- Σταθεροποιεί τη θερμοκρασία
- Δε σαπίζει, ούτε λιώνει και έχει απεριόριστη διάρκεια ζωής
- Χωρητικότητα νερού 28-50%, ανάλογα την κοκκομετρία του
- Έχει τη μεγαλύτερη αεροπερατότητα σε σύγκριση με άλλα υποστρώματα
- Είναι πολύ ελαφρύ υλικό, με βάρος 90 κιλά ανά κυβικό μέτρο

Χρησιμοποιείται σε σάκους καλλιέργειας διαφόρων μεγεθών οι οποίοι είναι κατασκευασμένοι από ειδικό πλαστικό διπλής όψεως με μαύρο χρώμα εσωτερικά και λευκό γαλακτώδες εξωτερικά και προτιμώνται δεδομένου ότι τα φυτά φυτεύονται απευθείας πάνω τους χωρίς να απαιτούνται εργατικά για την μεταφορά και τοποθέτηση του περλίτη σε άλλα φυτοδοχεία.

### 3.5 ΧΗΜΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΘΡΕΠΤΙΚΩΝ ΔΙΑΛΥΜΑΤΩΝ

Γνωρίζοντας τις χημικές ιδιότητες του θρεπτικού διαλύματος, έχουμε επίγνωση της κατάστασης του διαλύματος και διευκολύνεται με αυτόν τον τρόπο, η ρύθμισή του, ανάλογα με τις απαιτήσεις του φυτού.

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα (Electrical Conductivity, EC) σαν φυσικό μέγεθος είναι το αντίστροφο της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης ενός υλικού, έχει δηλαδή διαστάσεις ηλεκτρικής αντίστασης ανά μονάδα μήκους. Στην πραγματικότητα πρόκειται για την ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα, για χάρη συντομίας όμως έχει επικρατήσει να ονομάζεται απλώς, ηλεκτρική αγωγιμότητα. Σήμερα σαν μονάδα μέτρησης της ηλεκτρικής αγωγιμότητας έχει καθιερωθεί διεθνώς το dS/m (σε ορισμένα κείμενα χρησιμοποιείται το mS/cm). Η ηλεκτρική αγωγιμότητα ενός υδατικού διαλύματος σε μια συγκεκριμένη θερμοκρασία είναι ανάλογη της συγκέντρωσης των ιόντων που βρίσκονται διαλυμένα σ' αυτό. Έτσι, στην περίπτωση των νερών άρδευσης και των θρεπτικών διαλυμάτων είναι μέτρο της περιεκτικότητας τους σε θρεπτικά στοιχεία κι άλλα ανόργανα άλατα. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα δεν μας δίνει καμία πληροφορία για το είδος των αλάτων που είναι διαλυμένα σε ένα διάλυμα, αλλά μόνο για την συνολική τους συγκέντρωση. Παρ' όλα αυτά όμως στην υδροπονική πράξη, η αγωγιμότητα ελέγχεται τακτικά τόσο κατά τον καθημερινό έλεγχο της κατάστασης του θρεπτικού διαλύματος στον χώρο του ριζικού συστήματος, όσο και κατά τη δημιουργία πυκνών/μητρικών θρεπτικών διαλυμάτων. Τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας χαμηλότερες από ένα κατώτερο όριο υποδηλώνουν ότι η περιεκτικότητα του διαλύματος σε ορισμένα τουλάχιστον θρεπτικά στοιχεία είναι ανεπαρκής. Ανάλογα, πολύ υψηλές τιμές πάνω από ένα ανώτατο ωρίο σημαίνουν ότι η συνολική περιεκτικότητα του διαλύματος σε άλατα (θρεπτικών στοιχείων και μη) είναι τόσο μεγάλη, ώστε τα φυτά υφίστανται αλατούχο καταπόνηση ανάλογα με αυτή στην οποία είναι εκτεθειμένα όταν καλλιεργούνται σε αλατούχα εδάφη.

Το pH είναι μέτρο της περιεκτικότητας ενός διαλύματος σε ιόντα υδρογόνου, δηλαδή της ενεργού οξύτητας του διαλύματος. Επομένως μας δείχνει πόσο όξινο ή πόσο αλκαλικό είναι ένα διάλυμα. Σε ένα θρεπτικό διάλυμα, κάθε αλλαγή του pH προκαλεί μεταβολές στις συγκεντρώσεις των κατιόντων και των ανιόντων των θρεπτικών στοιχείων που αντιστοιχούν σε ασθενή οξέα και ασθενείς βάσεις αντίστοιχα. Το pH του θρεπτικού διαλύματος στο περιβάλλον της ρίζας της τομάτας θα πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 5,5-6,5. Τιμές pH μεταξύ 5 και 5,5 καθώς και μεταξύ 6,5 και 7 δεν αναμένεται να προκαλέσουν προβλήματα ανισορροπιών θρέψης. Επειδή όμως είναι οριακές και ενέχουν τον κίνδυνο της υπέρβασης τους δε συμπεριλαμβάνονται στη ζώνη των επιθυμητών τιμών αλλά

απαρτίζουν μία ανώτερη και μία κατώτερη ζώνη ρυθμιστικών τιμών. Αυτό σημαίνει ότι αν το pH στο περιβάλλον της ρίζας ή στο διάλυμα απορροής βρίσκεται μέσα σε αυτό το ρυθμιστικό εύρος τιμών θα πρέπει να λαμβάνονται μέτρα επαναφοράς του στη ζώνη μεταξύ 5,5-6,5 πριν υπερβεί το κατώτερο όριο του 5 ή το ανώτερο όριο του 7. Γενικά, έχει αποδειχθεί ότι σε σύγκριση με άλλα φυτά η τομάτα είναι λιγότερο ευαίσθητη σε τιμές pH που υπερβαίνουν το 7. Συνήθως το pH του διαλύματος, όταν φθάσει στο περιβάλλον των ριζών, τείνει να ανέβει επειδή ο λόγος απορρόφησης ανιόντων προς κατιόντα υπερβαίνει την μονάδα και επομένως το φυτό εξισορροπεί το ηλεκτροχημικό δυναμικό εντός των κυττάρων του με απελευθέρωση H<sup>+</sup>. Η απορρόφηση περισσότερων ανιόντων σε σχέση με τα κατιόντα συμβαίνει γιατί κάτω από συνθήκες κανονικής ανάπτυξης τα φυτά έχουν υψηλές ανάγκες σε άζωτο τις οποίες καλύπτουν μέσω έντονης απορρόφησης νιτρικών ιόντων. Επομένως, χορηγώντας ένα θρεπτικό διάλυμα με pH 5,5-5,7 επιδιώκεται να διαμορφωθεί ένα pH της τάξεως των 6-6,5 ή και λίγο μεγαλύτερο στο περιβάλλον της ρίζας. Κάτω από συνθήκες χαμηλής ηλιοφάνειας ή μείωσης του ρυθμού βλαστικής ανάπτυξης των φυτών λόγω ασθενειών, υπερβολικού φορτίου καρποφορίας, κ.λπ., οι ανάγκες του φυτού σε άζωτο και επομένως και η απορρόφηση νιτρικών μπορούν να μειωθούν αισθητά με συνέπεια την πτώση του λόγου απορρόφησης ανιόντων προς κατιόντα σε επίπεδα κάτω της μονάδας. Κάτω από τέτοιες συνθήκες το ηλεκτροχημικό δυναμικό των κυττάρων εξισορροπείται με απελευθέρωση H, με συνέπεια την πτώση του pH στο περιβάλλον των ριζών. Επομένως, ενώ η προσθήκη ενός μικρού μέρους του αζώτου σε αμμωνιακή μορφή είναι ευεργετική γιατί συμβάλλει στην συγκράτηση του pH σε τιμές κάτω από 6,5-7, η χορήγηση μεγάλου μέρους του N σε μορφή NH<sub>4</sub> πρέπει να αποφεύγεται γιατί μπορεί να οδηγήσει σε πτώση του pH στο ριζόστρωμα των φυτών σε τιμές κάτω από 5 με δυσμενείς συνέπειες για την καλλιέργεια.

Η ποιότητα του νερού αποτελεί ιδιαίτερα σημαντικό παράγοντα για τις υδροπονικές καλλιέργειες. Το αρδευτικό νερό, ανάλογα με την προέλευσή του, μπορεί να περιέχει σημαντικές ποσότητες ιόντων ασβεστίου (Ca<sup>+2</sup>), μαγνησίου (Mg<sup>+2</sup>), όξινων ανθρακικών (HCO<sup>-3</sup>), θεικών (SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>), νατρίου (Na<sup>+</sup>), χλωρίου (Cl<sup>-</sup>) και ποσότητες βαρέων μετάλλων (Μαυρογιαννόπουλος, 1994). Έτσι, για να παρασκευασθεί ένα θρεπτικό διάλυμα είναι απαραίτητο να είναι γνωστή και η περιεκτικότητα του χρησιμοποιούμενου νερού σε ανόργανα στοιχεία. Το νερό της άρδευσης είναι συνήθως αλκαλικό, λόγω των όξινων ανθρακικών αλάτων που περιέχει. Έτσι, όσο περισσότερο νερό προσφέρεται στα φυτά σε αντικατάσταση του νερού που φεύγει στην ατμόσφαιρα μέσω της διαπνοής, τόσο πιο αλκαλικό (pH >7) γίνεται το περιβάλλον της ρίζας. Αυτή λοιπόν η αλκαλικότητα του

νερού, πρέπει να εξουδετερωθεί, κατά την παρασκευή των θρεπτικών διαλυμάτων, από τα οξέα του διαλύματος. Σε αντιστάθμιση της απορρόφησης ανιόντων, η ρίζα αποβάλλει ανιόντα  $\text{HCO}_3^-$  και γι' αυτό έχουμε μικρή αύξηση της αλκαλικότητας. Σε αντιστάθμιση της απορρόφησης κατιόντων, η ρίζα αποβάλλει ανιόντα  $\text{H}^+$ , αλλά επειδή συνήθως ο ρυθμός απορρόφησης ανιόντων είναι λίγο μεγαλύτερος από τον αντίστοιχο των κατιόντων, ο ρυθμός έκλυσης  $\text{HCO}_3^-$  από τις ρίζες είναι υψηλότερος από το ρυθμό απελευθέρωσης  $\text{H}^+$ . Για τη διόρθωση του pH του θρεπτικού διαλύματος χρησιμοποιούμε κυρίως το νιτρικό οξύ ( $\text{HNO}_3$ ) και το φωσφορικό οξύ ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ), που μειώνουν το pH, παρέχοντας τα χρήσιμα ιόντα για την θρέψη των φυτών  $\text{NO}_3^-$  και  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  αντίστοιχα. Το νιτρικό οξύ δίσταται πλήρως (100%), ενώ το φωσφορικό οξύ δίσταται σε βαθμό που καθορίζεται από το pH του θρεπτικού διαλύματος (de Rijck and Schrevens, 1997). Υψηλές συγκεντρώσεις  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{NaCl}$  και βαρέων μετάλλων, καθώς και η ύπαρξη οργανικών συσσωματωμάτων υποβαθμίζουν την ποιότητα του νερού και ενίοτε το καθιστούν ακατάλληλο για χρήση. Η υψηλή συγκέντρωση  $\text{NaCl}$  επιδρά στην μείωση της παραγωγής ή την καθιστά αδύνατη. Υψηλή συγκέντρωση μαγγανίου, ψευδαργύρου ή βορίου μπορεί επίσης να καταστήσει το νερό ακατάλληλο για άρδευση. Επιπλέον, η γνώση της περιεκτικότητας του νερού στα ιόντα που είναι απαραίτητα για τη θρέψη των φυτών είναι επιβεβλημένη για τον υπολογισμό των ποσοτήτων των λιπασμάτων που απαιτούνται για την παρασκευή του θρεπτικού διαλύματος. Για να κριθεί η καταλληλότητα του νερού στις υδροπονικές καλλιέργειες και για να γίνει δυνατή η προσαρμογή των θρεπτικών διαλυμάτων στη συγκεκριμένη ποιότητα νερού που διαθέτουμε, θα πρέπει να προσδιοριστούν η ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC), το pH και οι συγκεντρώσεις  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Mn}^{+2}$ ,  $\text{Zn}^{+2}$ ,  $\text{B}^-$ ,  $\text{Cu}^{+2}$ ,  $\text{Mo}^-$ ,  $\text{F}^-$ , καθώς και ο συνολικός  $\text{Fe}^{+2}$ . Τα όργανα με τα οποία μετράμε τις ενδείξεις pH και EC, εμφανίζονται στην Εικόνα \_10: Αριστερά φορητό πεχάμετρο και δεξιά φορητό αγωγιμόμετρο.

Εικόνα \_10: Αριστερά φορητό πεχάμετρο και δεξιά φορητό αγωγιμόμετρο



Όταν μία καλλιέργεια φυτών τροφοδοτείται για ένα σχετικά μεγάλο χρονικό διάστημα με θρεπτικό διάλυμα, οι ποσότητες που θα χρειαστεί να καταναλωθούν μπορεί να είναι



σχετικά μεγάλες. Στην περίπτωση αυτή, για να αποφευχθεί η συχνή παρασκευή θρεπτικού διαλύματος, παρασκευάζονται πυκνά διαλύματα τα οποία είναι 100-200 ή και περισσότερες φορές πυκνότερα, από το θρεπτικό διάλυμα με το οποίο θα τροφοδοτηθούν τα φυτά. Τα πυκνά αυτά διαλύματα (γνωστά και ως μητρικά διαλύματα) στη συνέχεια αραιώνονται σε μία καθορισμένη αναλογία με το νερό άρδευσης, οπότε τελικά προκύπτει το κανονικό διάλυμα με το οποίο τροφοδοτούνται τα φυτά. Πρέπει απαραίτητα να χρησιμοποιούνται διαφορετικά δοχεία πυκνών διαλυμάτων, γιατί το νιτρικό ασβέστιο δεν μπορεί να τοποθετηθεί στο ίδιο δοχείο με φωσφορικά και θειικά λιπάσματα σε τόσο μεγάλες συγκεντρώσεις. Κάτι τέτοιο θα είχε σαν συνέπεια την κατακρήμνιση  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$  και  $\text{CaSO}_4$ , λόγω της χαμηλής διαλυτότητας που έχουν αυτά τα δύο άλατα. Συνήθως χρησιμοποιείται και βαρέλι μητρικού διαλύματος, στο οποίο τοποθετείται αποκλειστικά και μόνο οξύ (κατά κανόνα  $\text{HNO}_3$ ), για τον έλεγχο του pH του διαλύματος. Τα δοχεία των πυκνών διαλυμάτων συνδέονται με ένα σύστημα μίξης, το οποίο αραιώνει (συνήθως στην ίδια αναλογία) τα πυκνά διαλύματα με νερό. Η αναλογία αραιώσης είναι τόση, όσες φορές πιο πυκνά έχουν παρασκευασθεί τα μητρικά διαλύματα αναφορικά με το αραιό διάλυμα, με το οποίο θα τροφοδοτηθούν τα φυτά. Το αραιό διάλυμα που προκύπτει οδηγείται στον χώρο ανάπτυξης των φυτών με την βοήθεια μιας αντλίας. Στη συνέχεια διοχετεύεται η απαιτούμενη κάθε φορά ποσότητα οξέως στο αραιό διάλυμα ώστε το pH να συγκρατείται μεταξύ 5,5. Οι συνθέσεις θρεπτικών διαλυμάτων που προτείνονται σε διάφορες βιβλιογραφικές πηγές μπορούν να χρησιμοποιηθούν αυτούσιες κατά τον υπολογισμό των απαιτούμενων ποσοτήτων λιπασμάτων μόνο στην περίπτωση που το νερό που χρησιμοποιείται είναι απιονισμένο ή βρόχινο με μηδενική πρακτικά συγκέντρωση αλάτων. Όταν όμως το νερό που χρησιμοποιείται για την παρασκευή θρεπτικών διαλυμάτων προέρχεται από γεωτρήσεις, φράγματα ή φυσικές πηγές, είναι σίγουρο ότι περιέχει σημαντικές ποσότητες ανόργανων ιόντων. Γι αυτό, από τις ποσότητες λιπασμάτων που θα έπρεπε να προστεθούν σε απεσταγμένο νερό για να προκύψει θρεπτικό διάλυμα μιας δεδομένης σύστασης θα πρέπει να αφαιρούνται οι ποσότητες των θρεπτικών στοιχείων που περιέχονται στο χρησιμοποιούμενο νερό. Όπως είναι γνωστό, σε όλα τα υδατικά διαλύματα ισχύει η αρχή της ηλεκτρικής ουδετερότητας (το σύνολο των θετικών φορτίων ισούται με το σύνολο των αρνητικών φορτίων των ιόντων). Επομένως, κάθε προτεινόμενη σύνθεση θρεπτικού διαλύματος για να είναι εφαρμόσιμη θα πρέπει να είναι ισοσκελισμένη ως προς τις συγκεντρώσεις ανιόντων και κατιόντων που δίνονται. Οι συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων στα θρεπτικά διαλύματα δεν παίζουν πρακτικά κανένα ρόλο στο ύψος της συνολικής συγκέντρωσης αλάτων σ' αυτά, γιατί, είναι αμελητέες σε σύγκριση με αυτές των

μακροστοιχείων (η συνολική συγκέντρωση ιχνοστοιχείων είναι περίπου το 1/500 αυτής των μακροστοιχείων). Γι αυτό κατά τον καθορισμό της σύνθεσης ενός θρεπτικού διαλύματος οι συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων καθορίζονται ανεξάρτητα από αυτές των μακροστοιχείων.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ IV

### 4. ΘΡΕΨΗ

Για την θρέψη των φυτών χρειάζονται κάποια απαραίτητα ανόργανα θρεπτικά στοιχεία. Για να θεωρηθεί απαραίτητο κάποιο θρεπτικό στοιχείο πρέπει να απαντά στα παρακάτω κριτήρια:

- Ο βιολογικός κύκλος του φυτού να μην είναι δυνατό να ολοκληρωθεί με την απουσία του στοιχείου
- Το στοιχείο πρέπει να έχει άμεση δράση στις λειτουργίες του φυτικού οργανισμού και όχι έμμεση
- Το στοιχείο πρέπει να έχει κάποια ειδική δράση και να μην υποκαθίσταται από άλλο στοιχείο
- Πρέπει να αποτελεί συστατικό μίας χημικής ένωσης με ιδιαίτερη βιολογική σημασία για το φυτό.

Μόνο 16 στοιχεία από τα 100 περίπου στοιχεία πληρούν τα παραπάνω κριτήρια. Αυτά χωρίζονται στα κύρια στοιχεία (μακροστοιχεία) που βρίσκονται στο φυτό σε μεγάλες συγκεντρώσεις και σε ιχνοστοιχεία που βρίσκονται σε μικρότερες.

Στα κύρια στοιχεία ανήκουν: ο άνθρακας (C), το οξυγόνο (O), το υδρογόνο (H), τα οποία τα προσλαμβάνει το φυτό από τον αέρα και από το νερό, το ασβέστιο (Ca), το κάλιο (K), ο φώσφορος (P), το άζωτο (N), το θείο (S) και το μαγνήσιο (Mg). Στα ιχνοστοιχεία ανήκουν: το νάτριο (Na) ο σίδηρος (Fe), το μαγγάνιο (Mn), το χλώριο (Cl), το μολυβδαίνιο (Mo), ο χαλκός (Cu), το βόριο (B) και ο ψευδάργυρος (Zn) και νικέλιο (Ni).

#### 4.1 ΜΑΚΡΟΣΤΟΙΧΕΙΑ (N, P, K, Ca, Mg, S)

##### Ο Ρόλος του Αζώτου (N)

Η ονομασία ά-ζωτο χρησιμοποιήθηκε ακριβώς για να υποδηλώσει ότι χωρίς αυτό το χημικό στοιχείο δεν νοείται ζωή, ούτε ακόμη και σε στοιχειώδη μορφή όπως είναι αυτή των ιόν. Κατά μέσο όρο η περιεκτικότητα των διαφόρων φυτών σε άζωτο ανέρχεται περίπου σε 1,5-4,5% της ξηράς ουσίας ολόκληρου του φυτού. Το άζωτο, μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τα φυτά τόσο σε νιτρική ( $\text{NO}_3^-$ ), όσο και αμμωνιακή ( $\text{NH}_4^+$ ) μορφή (Forde and Clarkson 1999). Είναι συστατικό των αμινοξέων στα οποία συμμετέχει σε μορφή αμινομάδας ( $\text{NH}_2$ ). Κατά συνέπεια το άζωτο είναι συστατικό όλων των πρωτεϊνών, αφού είναι γνωστό ότι οι τελευταίες αποτελούνται από πολλά αμινοξέα συνδεδεμένα μεταξύ τους σε μορφή αλυσίδας. Υπολογίζεται ότι οι πρωτεΐνες περιέχουν κατά μέσο όρο

12% άζωτο περίπου. Επιπλέον, το άζωτο συμμετέχει στην δομή των 5 βάσεων που συνιστούν τα νουκλεοξέα (αδενίνη, γουανίνη, κυτοσίνη, θυμίνη, ουρακίλη), καθώς και στο μόριο ορισμένων συνενζύμων, μεταξύ των οποίων και της χλωροφύλλης. Το άζωτο είναι ένα θρεπτικό στοιχείο το οποίο είναι απολύτως αναγκαίο για όλους τους ζώντες οργανισμούς και όχι μόνο για τα φυτά. Γενικά η περιεκτικότητα σε N είναι μεγαλύτερη κατά τα αρχικά στάδια ανάπτυξης, σε σχέση με τα μεγαλύτερης ηλικίας φυτά. Τα συμπτώματα έλλειψης αζώτου εντοπίζονται στο χρώμα των φύλλων, το οποίο δεν έχει το χαρακτηριστικό πράσινο χρώμα (Εικόνα\_11). Αρχικά, τα πρώτα συμπτώματα εμφανίζονται στα μεγαλύτερης ηλικίας φύλλα τα οποία παίρνουν ανοιχτό πράσινο χρώμα, το οποίο στη συνέχεια γίνεται κίτρινο και νεκρώνονται. Επίσης, παρατηρείται μειωμένη ανάπτυξη των φυτών, πρόωμη ανθοφορία, μειωμένη και χαμηλής ποιότητας παραγωγή και σύντομη ολοκλήρωση του βιολογικού τους κύκλου. Περίσσεια N οδηγεί σε βλαστομανία και σκούρου χρώματος φύλλα, δημιουργώντας φυτά που εύκολα προσβάλλονται από παθογόνα και έντομα και είναι πιο ευαίσθητα σε ακραίες περιβαλλοντικές συνθήκες. Επίσης, μειώνεται και ο αριθμός των ανθέων, η ανάπτυξη των φρούτων και η ποιότητα των καρπών (Benton, 2005). Η μορφή με την οποία παρέχεται στα φυτά επηρεάζει το μεταβολισμό τους (Raab and Terry, 1994; Gerendas et al., 1997) και την απορρόφηση και άλλων μακροστοιχείων, λόγω ιοντικού ανταγωνισμού (Marschener, 1995). Η ταχύτερη απορρόφηση της εκάστοτε μορφής εξαρτάται από τις βιοχημικές μεταβολές του ίδιου του φυτού, το pH και τον τύπο του υποστρώματος ανάπτυξης καθώς και άλλους παράγοντες. Στις ελληνικές θερμοκηπιακές συνθήκες υδρολίπανσης τα λιπάσματα νιτρική αμμωνία, νιτρικό ασβέστιο και νιτρικό κάλιο, ανάλογα με το pH του εδάφους και το στάδιο ανάπτυξης των φυτών, θεωρούνται τα πιο κατάλληλα για προσθήκη αζώτου (Παναγιωτόπουλος, 1995a).

Εικόνα\_11: Τροφοπενία N (προσωπικό αρχείο πειράματος ΓΠΑ)



## Ο Ρόλος του Φωσφόρου (P)

Ο ρόλος του φωσφόρου είναι ιδιαίτερα σημαντικός, μιας κι εμπλέκεται στη φωτοσύνθεση, την αναπνοή και άλλες μεταβολικές διαδικασίες. Συγκεκριμένα μέσα στους φυτικούς ιστούς ο φώσφορος αποτελεί συστατικό των φωσφορολιπιδίων, των νουκλεοξέων, των φωσφορυλιωμένων υδατανθράκων, πολλών συνενζύμων καθώς και προσθετικών ομάδων (πυριδινονουκλεοτίδια, φλαβινοπαράγωγα, FMN, FAD, πυροφωσφορική θειαμίνη, φωσφορική πυριδοξάλη, ATP, ADP, κ.λπ.) και των φυτικών αλάτων. Τα φυτικά άλατα προέρχονται από την εστεροποίηση της κυκλικής αλκοόλης μυοϊνοσιτόλη με  $H_2PO_4^-$  (οπότε προκύπτει εξαφωσφορική ινοσιτόλη η οποία είναι γνωστή και ως φυτικό οξύ) και στην συνέχεια τον σχηματισμό των αλάτων αυτής με Mg, Ca και K. Τα φυτικά άλατα αποτελούν μορφή αποθησαυρισμού του φωσφόρου τα οποία εναποτίθενται σε όργανα όπως τα σπέρματα και διάφορα όργανα αγενούς αναπαραγωγής των φυτών. Ειδικά το φυτικό άλας Mg και Ca καλείται φυτίνη. Η συγκέντρωσή του στα νεαρά φυτά κυμαίνεται από 0,5-1% και μειώνεται όσο φθάνουν στην γήρανσή τους. Ο P παίζει σημαντικό ρόλο στη μεταφορά ενέργειας στα φυτά, ενώ πιθανή τροφοπενία επιβραδύνει σημαντικά την ανάπτυξή τους. Στα παλαιά φύλλα εντοπίζονται πορφυροί μεταχρωματισμοί, οι οποίοι όμως μπορεί να οφείλονται και σε συμπτώματα από χαμηλές θερμοκρασίες είτε του μέσου ανάπτυξης είτε της ατμόσφαιρας. Πιθανόν, η πρόσληψη του από τα φυτά επηρεάζεται σε μικρό βαθμό από την θερμοκρασία, ενώ τα συμπτώματα περιορίζονται όταν οι θερμοκρασίες επιστρέφουν σε κανονικά για την ανάπτυξη των φυτών επίπεδα. Μέχρι πρόσφατα, η τροφοπενία φωσφόρου δεν ήταν πρόβλημα σε κάποια καλλιέργεια. Ωστόσο, υπάρχουσες μελέτες έδειξαν ότι επηρεάζει την ανάπτυξη των φυτών. Υπάρχουν ενδείξεις ότι όταν στο φυτό υπερβαίνει το 1% του ξηρού βάρους παρουσιάζονται συμπτώματα τοξικότητας (Jones, 1998b). Αυτό έχει έμμεση επίδραση στις λειτουργίες των άλλων στοιχείων όπως Fe, Mn, Zn. Τα συμπτώματα είναι πιο έντονα σε καλλιέργειες εκτός εδάφους, ενώ σε κάποια υποστρώματα η αρχική εφαρμογή λιπασμάτων P μπορεί να είναι αρκετή για να ικανοποιήσει τις ανάγκες όλης της καλλιέργειας. Στα περισσότερα συστήματα καλλιέργειας εκτός εδάφους εφαρμόζεται σε ποσότητες μεταξύ 30 και 50 mg/L, αν και υπάρχουν ενδείξεις ότι πρέπει να μειωθεί στα 10-20 mg/L. Βρίσκεται σε μορφή ανιόντος στο διάλυμα και σχετίζεται με το pH του διαλύματος. Επίσης, ο P μπορεί να δημιουργήσει ιζήματα κοντά στη ρίζα με αποτέλεσμα τη δυσκολία απορρόφησης τόσο του ίδιου όσο και άλλων στοιχείων που συγκεντρώνονται στα ιζήματα (Benton, 2005). Η προσθήκη του γίνεται με φωσφορικό μονοαμμώνιο, φωσφορικό

μονοκάλιο ή φωσφορικό οξύ. Το πρώτο είναι ευδιάλυτο λίπασμα το οποίο μειώνει αισθητά το pH του διαλύματος και χρησιμοποιείται μόνο συμπληρωματικά και όχι ως αποκλειστική πηγή φωσφόρου. Μπορεί να αποτελέσει μια εναλλακτική μορφή χορήγησης αμμωνίας όταν δεν είναι επιθυμητή ή δυνατή η προσθήκη νιτρικής αμμωνίας. Το δεύτερο κατά σειρά λίπασμα, είναι ευδιάλυτο άλας το οποίο μειώνει και αυτό ελαφρώς το pH λόγω των ιόντων που απελευθερώνει. Αποτελεί την πλέον συνηθισμένη πηγή φωσφόρου για τα θρεπτικά διαλύματα. Τέλος, το φωσφορικό οξύ μπορεί να χρησιμοποιηθεί στα θρεπτικά διαλύματα αλλά θέλει προσοχή γιατί η προσθήκη του μειώνει σημαντικά το pH (Σάββας, 2012).

### Ο Ρόλος του Καλίου (K)

Το κάλιο είναι μονοσθενές κατιόν που βρίσκεται στη μεγαλύτερη αφθονία μέσα στα φυτά και είναι απαραίτητο συστατικό για τις λειτουργίες των φυτών τόσο στην σύνθεση των πρωτεϊνών όσο και στην φωτοσυνθετική τους δραστηριότητα. Αποτελεί το 1,25-3% της ξηράς του ουσίας, αν και ορισμένα είδη έχουν απαιτήσεις μεγαλύτερες του 10%. Καλλιέργειες τομάτας, αγγουριού και πιπεριάς έχουν μεγάλες απαιτήσεις σε κάλιο. Η πρόσληψή του είναι πολύ σημαντική κατά τη βλαστητική ανάπτυξη και μειώνεται αργότερα. Συμβάλλει στο σχηματισμό και την μετακίνηση των υδατανθράκων, στην ανθεκτικότητα των φυτών σε ασθένειες καθώς και στην ανάπτυξη του υπογείου μέρους (κρεμμύδι), των καρπών (τομάτα) και των βλαστών (σέλινο) των φυτών (Ακουμιανάκης, 2007). Έχει ενέργεια ενυδάτωσης 314 J/Mol και παίζει, επίσης, σημαντικό ρόλο σε πολλές λειτουργίες των φυτών, όπως στην κυτταρική αύξηση, τη βλάστηση των σπερμάτων, στο άνοιγμα των στοματίων, στην οσμωτική ρύθμιση, στην ενεργοποίηση των ενζύμων κ.α. Η απορρόφηση του είναι πολύ επιλεκτική και η επάρκεια του στις καλλιέργειες είναι συνώνυμη με την κανονική διαπερατότητα των κυτταρικών μεμβρανών και τη διευκόλυνση του φυτού στην απορρόφηση νερού (Χατζηευστρατίου 2007). Βρίσκεται σε αφθονία στο πρωτόπλασμα και τα άλατα του παίζουν σημαντικό ρόλο στο ωσμωτικό δυναμικό των κυττάρων (Μαυρογιαννόπουλος, 1994). Στις περισσότερες υδροπονικές καλλιέργειες εφαρμόζεται σε ποσότητες των 200mg/L και έχει την μορφή κατιόντος. Το μεγαλύτερο ποσοστό του K στα θρεπτικά διαλύματα προστίθεται με το νιτρικό κάλιο, το οποίο έχει μικρή διαλυτότητα. Σε κάποιες περιπτώσεις χρησιμοποιείται, συμπληρωματικά, το θειικό κάλιο, το οποίο είναι ευδιάλυτο (Σάββας, 2012). Σύμφωνα με τον Μουστάκα (2000), η απορρόφηση του καλίου, εκτός από την ανταγωνιστική του δράση με την παρουσία στο έδαφος  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $H^{+}$ , επηρεάζεται και από τους εξής παράγοντες:

- Φως: Το φώς, στο βαθμό που επηρεάζει την φωτοσύνθεση
- Διαπνοή: Η συγκέντρωση καλίου είναι μικρότερη την ημέρα
- Γονότυπος: Οι γονότυποι επηρεάζουν την απορρόφηση σε φυτά του ίδιου είδους
- Η συγκέντρωση καλίου στην ριζόσφαιρα
- Θερμοκρασία: Η απορρόφηση είναι μεγαλύτερη σε υψηλότερες θερμοκρασίες
- Ηλικία: Η απορρόφηση μειώνεται όσο αυξάνεται η ηλικία των φυτών
- Επάρκεια ή ανεπάρκεια: Σε συνθήκες ανεπάρκειας η απορρόφηση διπλασιάζεται
- Μορφολογία ρίζας: Μεγαλύτερης διαμέτρου ριζικό σύστημα παρουσιάζει μεγαλύτερη απορρόφηση.

Τα συμπτώματα τροφοπενίας καλίου ξεκινούν με κιτρίνισμα του φύλλου και σταδιακή αποξήρανση του. Στην τροφοπενία καλίου παρατηρείται πρόωρη αποξήρανση των παλαιών φύλλων. Έλλειψη Κ οδηγεί σε κλείσιμο των στοματίων, μειώνεται η διαπνοή η φωτοσύνθεση. Επίσης, σε τροφοπενία Κ μειώνεται η σπαργή των φυτικών ιστών με αποτέλεσμα την ξήρανσή τους, ενώ παράλληλα επιβραδύνεται η ανάπτυξη του φυτού. Αρχικά τα συμπτώματα εμφανίζονται στα παλαιά φύλλα ενώ σε προχωρημένο στάδιο έχουν την μορφή καψίματος γύρω από το έλασμα των φύλλων (Benton, 2005). Πηγές καλίου για τα φυτά: κομπόστ, στάχτη από ξύλα, φυκάλευρο, χλωριούχο κάλιο, θειικό κάλιο, σκόνη γρανίτη.

#### Ο Ρόλος του Ασβεστίου (Ca)

Η περιεκτικότητα των φυτικών ιστών σε ασβέστιο κυμαίνεται μεταξύ 0,1-5% ανάλογα με το είδος του φυτού, το φυτικό όργανο και την ηλικία του (Marschner, 1995). Σε γενικές γραμμές τα δικότυλα φυτά περιέχουν αρκετά μεγαλύτερες ποσότητες ασβεστίου (περίπου εικοσαπλάσιες) σε σύγκριση με τα μονοκότυλα. Οι διαφορές αυτές οφείλονται κυρίως, στις σημαντικά μεγαλύτερες ανάγκες που έχουν τα δικότυλα φυτά σε κατιόντα για να κορεσθούν τα σταθερά αρνητικά φορτία των κολλοειδών των κυτταρικών τους τοιχωμάτων. Τις μικρότερες συγκεντρώσεις Ca τις παρουσιάζουν οι καρποί και τα αποθηκευτικά όργανα (κόνδυλοι, ριζοκόνδυλοι, κ.λπ.) ενώ, οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις Ca υφίστανται στα ελάσματα των φύλλων όπου καταλήγει το ρεύμα της διαπνοής. Σημαντικές ποσότητες ασβεστίου περιέχονται και στους μίσχους των φύλλων, αφού μέσω αυτών διέρχονται τα αγγεία του ξύλου. Τέλος, όσον αφορά την ηλικία, στην περίπτωση των φύλλων τα κατώτερα και παλιότερα περιέχουν κατά κανόνα περισσότερο ασβέστιο αφού έχουν δεχθεί και καταναλώσει μέσω της διαπνοής σημαντικά μεγαλύτερες ποσότητες

νερού. Αντίθετα, στην περίπτωση των καρπών, με την πάροδο της ηλικίας η περιεκτικότητα σε ασβέστιο συνήθως ελαττώνεται (Mix and Marschner 1976). Έχει βρεθεί ότι οι ανάγκες των φυτών είναι πολύ μικρές, αλλά με την απαίτηση υψηλών συγκεντρώσεων εξαιτίας της παρουσίας κατιόντων και ιδιαίτερα μετάλλων (Wallace, 1971). Σύμφωνα με τον Bangerth (1979), οι βασικές λειτουργίες των φυτών στις οποίες υπεισέρχεται το ασβέστιο μπορούν να ταξινομηθούν στις εξής 4 κατηγορίες:

- σταθεροποίηση κυτταρικών μεμβρανών
- επίδραση στην λειτουργία ενζύμων
- επίδραση στον σχηματισμό των κυτταρικών τοιχωμάτων
- επίδραση στην διακίνηση και δράση ορισμένων φυτορμονών.

Το ασβέστιο ενεργοποιεί τα ένζυμα, βοηθάει στην κυκλοφορία του νερού στα κύτταρα και είναι απαραίτητο για την ανάπτυξη και τη διαίρεση τους. Εκτός από τις παραπάνω φυσιολογικές λειτουργίες, το ασβέστιο είναι απαραίτητο για τη βλάστηση των γυρεόκοκκων (Marne 1983). Η παρουσία του επιδρά αρνητικά στην απορρόφηση ανιόντων όπως νιτρικά, φώσφορος κ.α. Είναι μεγάλο δισθενές κατιόν με ενέργεια ενυδάτωσης 1577 J/Mol. Η πρόσληψή του εξαρτάται από τη συγκέντρωσή του στην περιοχή της ρίζας και από τη διαπνοή. Το ασβέστιο ανταγωνίζεται την παρουσία άλλων στοιχείων στις θέσεις των μεμβρανών. Γι' αυτό το λόγο, στην υδροπονία προστίθεται μικρότερες ποσότητες ασβεστίου σε σχέση με τις καλλιέργειες εδάφους, λόγω της υψηλότερης συγκέντρωσης άλλων στοιχείων στο έδαφος (Μαυρογιαννόπουλος, 1994). σε περιπτώσεις αυξημένης συγκέντρωσης Ca παρουσιάζει παρόμοια συμπτώματα στα φύλλα, ενώ πιθανόν να επηρεάζει τις συγκεντρώσεις K και Mg (Sonneveld and Voogt, 2009). Συμπτώματα έλλειψης ασβεστίου εντοπίζονται στα φύλλα καθώς αποκτούν διαφορετικό σχήμα, μέγεθος και παρουσιάζουν καφέ μεταχρωματισμούς. Η έλλειψη του προκαλεί συστροφή των ακραίων φύλλων, καχεκτική ανάπτυξη των φυτών και διακόπτει την ανάπτυξη των επάκριων οφθαλμών. Στο θρεπτικό διάλυμα εφαρμόζεται σε ποσότητες κοντά στα 200mg/L. Επίσης, υπάρχει κίνδυνος δημιουργίας ιζήματος στην περιοχή των ριζών εγκλωβίζοντας και άλλα στοιχεία. Το μοναδικό λίπασμα με το οποίο μπορεί να προστεθεί το ασβέστιο στο θρεπτικό διάλυμα είναι το νιτρικό ασβέστιο και μόνο σε ειδικές περιπτώσεις είναι δυνατή η συμπληρωματική χρησιμοποίηση του  $\text{CaCl}_2$ , σε περιορισμένη ποσότητα (Σάββας, 2012).

Ο Ρόλος του Μαγνησίου (Mg)



Το μαγνήσιο είναι ένα σημαντικό στοιχείο στη δομή της χλωροφύλλης και είναι απαραίτητο για την λειτουργία των ενζύμων, καθώς και για τη σύνθεση υδατανθράκων και σακχάρων. Η μετακίνησή του γίνεται τόσο μέσω των αγγείων του ξύλου και του φλοιού. Το μεγαλύτερο μέρος του μαγνησίου που περιέχεται στους φυτικούς ιστούς, περικλείεται στα χυμοτόπια των κυττάρων σε μορφή δισθενούς κατιόντος. Είναι ισχυρά ηλεκτροθετικό και έχει ενέργεια ενυδάτωσης 1908 J/Mol. Ο ρόλος του στο χυμοτόπιο είναι να αντισταθμίζει τα ηλεκτρικά φορτία των ανόργανων ανιόντων καθώς και των ανιόντων οργανικών οξέων που περικλείονται στα χυμοτόπια. Παράλληλα, το μαγνήσιο που περικλείεται στα χυμοτόπια λειτουργεί και ως απόθεμα που μπορεί εν μέρει να κινητοποιηθεί και να αξιοποιηθεί στον μεταβολισμό του κυττάρου κάτω από συνθήκες ανεπαρκούς τροφοδότησης των φυτών με Mg. Ειδικά στους αποθησαυριστικούς ιστούς, ένα σημαντικό μέρος του μαγνησίου που περικλείεται στα χυμοτόπια βρίσκεται σε μορφή αλάτων της φυτίνης (εξαφωσφοροϊννοσίτης) με Mg. Σημαντικό επίσης μέρος του μαγνησίου των φυτικών ιστών βρίσκεται προσροφημένο στα αρνητικά φορτία των πηκτινών καθώς και των άλλων συστατικών των κυτταρικών τοιχωμάτων. Το υπόλοιπο μαγνήσιο βρίσκεται στον πρωτοπλάστη όπου λαμβάνει μέρος σε διάφορες φυσιολογικές διεργασίες. Όπως είναι γνωστό, η χλωροφύλλη βρίσκεται στους χλωροπλάστες. Περίπου 10-20% του Mg των φυτικών ιστών περικλείεται στους χλωροπλάστες. Από το Mg, των χλωροπλαστών, περίπου το μισό ή και λιγότερο είναι δεσμευμένο στον δακτύλιο της πορφυρίνης ο οποίος συνιστά το βασικό τμήμα της χλωροφύλλης. Το υπόλοιπο Mg των χλωροπλαστών βρίσκεται ή σε μορφή ιόντος ή χαλαρά δεσμευμένο σε οργανικά μεγαλομόρια (κυρίως ένζυμα) λειτουργώντας ως γέφυρα μεταξύ επιμέρους αλυσίδων ή τμημάτων αυτών. Το μαγνήσιο είναι απαραίτητο για την παραγωγή RNA του πυρήνα γι' αυτό σε συνθήκες έλλειψης αναστέλλονται οι διαδικασίες της πρωτεϊνοσύνθεσης. Σημαντική ακόμα είναι και η συμβολή του μαγνησίου στην παραγωγή αμύλου ή όχι, στην σύνθεση γλουταμινικού. Οι φυτικοί ιστοί συνήθως περιέχουν Mg σε ποσοστό μεταξύ 0,1-0,8% στην ξηρή ουσία. Κατά κανόνα πιο πολύ Mg περιέχουν τα μεταβολικά ενεργά φύλλα καθώς και διάφορα αποθηκευτικά όργανα όπως τα σπέρματα. Όσον αφορά τις διαφορές που εμφανίζει η περιεκτικότητα σε Mg ανάμεσα στα διάφορα φυτικά είδη, φαίνεται σε γενικές γραμμές ότι τα δικότυλα φυτά περιέχουν πιο πολύ μαγνήσιο σε σύγκριση με τα μονοκότυλα. Για την ανάπτυξη ενός φυτού οι απαιτήσεις σε μαγνήσιο είναι 0,5% του ξηρού βάρους της φυτικής μάζας. Κατά την έλλειψη Mg:

- Μειώνεται ο βαθμός αύξησης της ρίζας σε σχέση με την βλαστική ανάπτυξη.

- Συσσωρεύεται άμυλο στα φύλλα επειδή παρατηρείται μείωση μεταφοράς λόγω μείωσης της ενέργειας
- Μειώνεται ο ρυθμός αναπνοής και φωτοσύνθεσης (Μαυρογιαννόπουλος, 1994)

Τα συμπτώματα της τροφοπενίας μαγνησίου εμφανίζονται πρώτα στα παλαιότερα φύλλα, αργά κατά την καλλιεργητική περίοδο. Εμφανίζεται πρωταρχικά χλώρωση κατά θέσεις στην περιφέρεια του ελάσματος και αργότερα στο έλασμα μεταξύ των νεύρων. Αργότερα σχηματίζονται μεσονεύριες νεκρωτικές κηλίδες που οδηγούν σε σταδιακή ξήρανση του ελάσματος (Παναγόπουλος, 2000). Στις υδροπονικές καλλιέργειες, η παροχή του βρίσκεται κοντά στα 50mg/L, αν και θεωρείται αρκετά χαμηλή για ορισμένες καλλιέργειες. Επίσης, έχει εντοπιστεί ότι κατακάθονται ποσότητες μαγνησίου υπό μορφή ιζήματος κοντά στις ρίζες (Benton, 2005).

#### Ο Ρόλος του Θείου (S)

Βρίσκεται στα φύλλα σε ποσοστά κοντά στο 0,15-1% της ξηρής ουσίας τους. Φυτά των οικογενειών Cruciferae και Leguminosae έχουν μεγαλύτερες ανάγκες. Το θείο είναι πολύ σημαντικό δομικό συστατικό των κυττάρων δεδομένου ότι:

- είναι συστατικό τωνθειούχων αμινοξέων (κυστεΐνη, μεθειονίνη)
- είναι συστατικό συνενζύμων και προσθετικών ομάδων (θειαμίνη, CoA, λιποϊκόξύ, βιοτίνη, γλουτοθειόνη, κ.λπ.
- είναι συστατικό πολυσακχαριτών,θειικών εστέρων, κ.λπ.
- είναι απαραίτητο για την παραγωγή χλωροφύλλης
- είναι δομικό συστατικό των βιταμινών

Επηρεάζει τη γεύση σε πολλά λαχανικά και η έλλειψή του γίνεται ορατή στα φύλλα που αποκτούν ανοικτό πράσινο χρώμα, μόνο σε προχωρημένα στάδια τροφοπενίας. Το θείο χάνεται από το έδαφος με την έκπλυση και θα πρέπει να προστίθεται με τη χρήση βελτιωτικών. Δεν αποκλείεται και το νερό που χρησιμοποιείται για το πότισμα να περιέχει θείο και να αναπληρώνει αυτό που χάνεται από το έδαφος με την έκπλυση. Πηγές θείου για τα φυτά: γύψος. Στα υδροπονικά συστήματα το S εφαρμόζεται σε συγκεντρώσεις 50 mg/L, και έχει τη μορφή ανιόντος στο διάλυμα. Προστίθεται στο θρεπτικό διάλυμα ωςθειικό κάλιο καιθειικό μαγνήσιο (Σάββας, 2012).

#### 4.2 ΜΙΚΡΟΣΤΟΙΧΕΙΑ (B, Na, Fe, Mn, Zn, Cu, Cl, Mo, Ni)

Οι απαιτήσεις των φυτών σε μικροστοιχεία είναι ελάχιστες αλλά πρέπει να εφαρμόζονται

για την διατήρηση της ισορροπίας στη θρέψη τους. Οι εφαρμοζόμενες συγκεντρώσεις είναι κοντά στο 1/10.000 της συγκέντρωσης των μακροστοιχείων. Είναι σημαντική η ικανότητα ελέγχου και διατήρησης των ποσοτήτων τους στο διάλυμα γιατί χρειάζεται μεγάλη ακρίβεια. Αν εφαρμοστούν σε μικρότερες ή μεγαλύτερες συγκεντρώσεις, κυρίως σε καλλιέργειες εκτός εδάφους, μπορούν να παρουσιάσουν συμπτώματα τροφοπενίας ή τοξικότητας αντίστοιχα, τα οποία θα είναι δύσκολο να αντιμετωπιστούν. Επίσης, στοιχεία όπως Fe, Mn, Zn μπορούν να μεταβάλλουν το pH και τις συγκεντρώσεις των μακροστοιχείων στο θρεπτικό διάλυμα.

### Ο Ρόλος του Βορίου (B)

Το βόριο είναι απαραίτητο για το σχηματισμό της κυτταρικής μεμβράνης, την ακεραιότητα της μεμβράνης, την απορρόφηση ασβεστίου και μπορεί να βοηθήσει στην κυκλοφορία των σακχάρων. Συγκεντρώνεται κοντά στις νευρώσεις των φύλλων κι εντοπίζεται σε συγκεντρώσεις 10-50 mg/kg του ξηρού βάρους στα φύλλα. Το βόριο επηρεάζει τουλάχιστον 16 λειτουργίες στα φυτά. Αυτές οι λειτουργίες περιλαμβάνουν την άνθηση, τη βλάστηση της γύρης, την παραγωγή φρούτων, τη διαίρεση των κυττάρων, τη κίνηση των ορμονών και τη κυκλοφορία του νερού. Το βόριο πρέπει να είναι διαθέσιμο καθ' όλη τη διάρκεια της ζωής του φυτού. Δε μετατοπίζεται και εκπλύνεται εύκολα από τα εδάφη. Η έλλειψη βορίου σκοτώνει τους τερματικούς οφθαλμούς. Τα φύλλα είναι παχιά, κυρτά και εύθραυστα. Τα φρούτα, οι κόνδυλοι και οι ρίζες χάνουν το χρώμα τους, εμφανίζουν ρωγμές και είναι διάστικτα με καφέ κηλίδες. Επίσης, πιθανή έλλειψη B οδηγεί σε νανισμό, ενώ περίσσεια μπορεί να δημιουργήσει συμπτώματα τοξικότητας. Πηγές βορίου για τα φυτά υδατοδιαλυτά μείγματα ιχνοστοιχείων: βόρακας, βορικό οξύ, τετραβορικό νάτριο, υγρό βόριο. Ο βόρακας είναι το κλασσικό λίπασμα που εφαρμόζεται, αλλά παρουσιάζει χαμηλή διαλυτότητα και περιεκτικότητα σε καθαρό βόριο. Έτσι, στο θρεπτικό διάλυμα εναλλακτικά χρησιμοποιούνται το βορικό οξύ και το οκταβορικό νάτριο, το οποίο είναι πιο ευδιάλυτο από τα άλλα δύο και χαρακτηρίζεται από μεγάλη ποσότητα σε καθαρό B, γι' αυτό και έχει καθιερωθεί ως το πλέον συνηθισμένο λίπασμα για υδροπονική καλλιέργεια.

### Ο Ρόλος του Νατρίου (Na)

Το νάτριο βρίσκεται σε αφθονία στον στερεό φλοιό της γης. Υπολογίζεται ότι το 2,8% του στερεού φλοιού της γης συνίσταται από νάτριο. Το αντίστοιχο ποσοστό για το κάλιο είναι 2,6%. Εντούτοις, ενώ το κάλιο είναι απαραίτητο θρεπτικό στοιχείο το οποίο περιέχεται σε μεγάλες ποσότητες στα φυτά, δεν συμβαίνει το ίδιο και με το νάτριο. Το Na είναι τοξικό

για τη ζώσα ύλη και γι' αυτό τα φυτά έχουν αναπτύξει μηχανισμούς εκλεκτικής απέκκρισης του είτε εκτός των ζωντανών κυττάρων είτε εκτός συγκεκριμένων περιοχών αυτών όπου επιτελούνται ζωτικές βιοχημικές λειτουργίες, όπως για παράδειγμα η φωτοσύνθεση. Σε ορισμένα όμως φυτά το Na ασκεί επωφελή δράση, ενώ για ορισμένες άλλες κατηγορίες φυτών το νάτριο θεωρείται απαραίτητο θρεπτικό στοιχείο (τεύτλα, φυτά τύπου C4) (Σάββας, 2012). Το νάτριο εμπλέκεται στην οσμωτική (κίνηση υγρών) και ιονική ισορροπία στα φυτά. Πηγές νατρίου για τα φυτά: κομπόστ, κοπριά.

### Ο Ρόλος του Σιδήρου (Fe)

Η περιεκτικότητα των φύλλων στα περισσότερα φυτά είναι από 50-100mg/kg της ξηράς ουσίας τους. Ο σίδηρος στα φυτά συναντάται κυρίως ως συστατικό των σιδηροπρωτεϊνών όπως οι σιδηρούχες πρωτεΐνες και των αιμοπρωτεϊνών όπως είναι τα κυτοχρώματα, οι καταλάσες, οι υπεροξειδάσες και οι λεγκαϊμογλοβίνες. Υπεισέρχεται στην αναπνοή, στην φωτοσύνθεση και στην αζωτοδέσμευση (Σάββας 2000). Ο σίδηρος συμβάλλει στην απορρόφηση του αζώτου και είναι καταλυτικό στοιχείο στην δράση της χλωροφύλλης. Το πιο συνηθισμένο σύμπτωμα τροφοπενίας Fe αφορά στη παρεμπόδιση ανάπτυξης του πράσινου χρώματος εξαιτίας της απώλειας της χλωροφύλλης. Αυτό εμφανίζεται κυρίως στη νέα βλάστηση, διαφοροποιώντας κατά κάποιο τρόπο τα συμπτώματα τροφοπενίας Mg.

Η έλλειψη σιδήρου στα φυτά προκαλεί λεπτό δίκτυο πράσινων νευρώσεων μέσα σε ένα κίτρινο υπόβαθρο και σε προχωρημένο στάδιο πλήρη αποχρωματισμό του ελάσματος (κίτρινο ή κιτρινόλευκο). Σπάνια παρατηρείται νέκρωση της κορυφής και της περιφέρειας του ελάσματος. Γενικότερα, η έλλειψη σιδήρου σχετίζεται και με συμπτώματα άλλων στοιχείων, όπως S, Mn, Zn. Έτσι, είναι απαραίτητη η εξέταση του ιστού εργαστηριακά. Επίσης, μερικά είδη μπορούν να ανταποκριθούν σε συνθήκες έλλειψης Fe με την απελευθέρωση ιόντων H δημιουργώντας μια όξινη περιοχή κοντά στη ρίζα. Η αντιμετώπιση των συμπτωμάτων αυτών και η δημιουργία νέας υγιούς βλάστησης είναι πιο εύκολη να γίνει σε μια υδροπονική καλλιέργεια (Sonneveld and Voogt, 2009). Οι χηλικές μορφές του Fe και του Fe (II) χρησιμοποιούνται στην υδροπονία και στο έδαφος γιατί είναι αφομοιώσιμες από τα φυτά. Ο ρυθμός απορρόφησης του σιδήρου είναι μεγαλύτερος στο ακραίο τμήμα της ρίζας και ιδιαίτερα σε συνθήκες ανεπάρκειας. Το οριακό επίπεδο συγκέντρωσης, κάτω από το οποίο μπορεί να εμφανιστεί έλλειψη σιδήρου στα φύλλα των περισσότερων κηπευτικών θερμοκηπίου ανέρχεται στα 50 mg/kg ξηρού βάρους (Μαυρογιαννόπουλος, 1994). Από όλα τα απαραίτητα θρεπτικά στοιχεία, μόνον ο σίδηρος προστίθεται σε χηλική μορφή στο θρεπτικό διάλυμα. Η αναγκαιότητα αυτή απορρέει από

την ιδιότητα των ιόντων Fe να αντιδρούν με τα φωσφορικά ιόντα και να καταβυθίζονται με αποτέλεσμα να παύουν να είναι διαθέσιμα για τα φυτά (Σάββας, 2012).

### Ο Ρόλος του Μαγγανίου (Mn)

Το μαγγάνιο είναι δισθενές κατιόν, το οποίο απορροφάται στην μορφή  $Mn^{2+}$ . Έχει το μικρότερο συντελεστή σταθερότητας συνθέτων απ' όλα τα ιχνοστοιχεία με αποτέλεσμα να σχηματίζει τους ασθενέστερους δεσμούς (Μαυρογιαννόπουλος, 1994). Η περιεκτικότητά του στα φύλλα είναι περίπου 20-100mg/kg του ξηρού βάρους τους. Το μαγγάνιο ενεργοποιεί διάφορα ένζυμα ιδιαίτερα ορισμένα που εμπλέκονται στην φωσφορυλίωση και τον κύκλο τρικαρβονικών οξέων. Επίσης, συμβάλλει στην οξείδωση του ινδολυλοξικού οξέως μέσω ενεργοποίησης της υπεροξειδάσης. Τέλος το μαγγάνιο ενεργοποιεί αντιδράσεις της φωτόλυσης. Το οριακό επίπεδο έλλειψης είναι από 10-20 mg/kg ξηρού βάρους στα νεαρά, πλήρως ανεπτυγμένα φύλλα. Συμπτώματα τροφοπενίας εντοπίζονται κοντά στις νευρώσεις των φύλλων, όπως και σε περίπτωση αυξημένης πρόσληψης εμφανίζονται τοξικότητες στην ίδια περιοχή. Πιθανή έλλειψη από το φυτό επηρεάζει τη λειτουργία του χλωροπλάστη, προκαλεί μεσονεύρια χλώρωση κυρίως σε αναπτυσσόμενους ιστούς. Τα προβλήματα αυτά είναι αναστρέψιμα με την εφαρμογή διαφυλλικού ψεκασμού ή με ψεκασμό κοντά στη ρίζα. Παρατηρείται επίσης μικρή ανάπτυξη των βλαστών, μείωση στην παραγωγή καρπών και περιορισμός στον σχηματισμό ανθέων (Παναγόπουλος, 2000). Σε περιπτώσεις τροφοπενίας ή περίσσειας μαγγανίου διαταράσσεται η γενικότερη θρέψη του φυτού. Στην υδροπονία εφαρμόζεται σε ποσότητες 0,5mg/L και απορροφάται εύκολα από τα φυτά (Benton, 2005). Το θεικό Μαγγάνιο αποτελεί το κατά κανόνα χρησιμοποιούμενο λίπασμα για την Παρασκευή θρεπτικών διαλυμάτων (Σάββας, 2012).

### Ο Ρόλος του Ψευδαργύρου (Zn)

Ο ψευδάργυρος απορροφάται κυρίως ως δισθενές κατιόν. Η μετακίνησή του πολλές φορές εμποδίζεται από υψηλές συγκεντρώσεις  $HCO_3^-$ . Ο ψευδάργυρος ενεργεί σε ένα μεγάλο αριθμό ενζύμων σαν μεταλλικό πρόσθετο των ενζύμων ως ρυθμιστικός, δομικός και λειτουργικός πολυσύνθετος παράγοντας. Μεταφέρεται από την ρίζα προς το υπέργειο μέρος του φυτού μέσω των αγγείων του ξύλου, εν μέρει ως ελεύθερο ιόν και εν μέρει συνδεδεμένος με οργανικές ρίζες. Η συνηθισμένη περιεκτικότητα του Zn στα φυτά: κυμαίνεται μεταξύ 20-100 μg/Kg στην ξηρή ουσία. Γενικά ο ψευδάργυρος παρουσιάζει μικρή κινητικότητα μέσω του ηθμού με συνέπεια να κατατάσσεται στα μη διακινήσιμα θρεπτικά στοιχεία. Γι αυτό σε περίπτωση τροφοπενίας ψευδαργύρου τα συμπτώματα

εμφανίζονται πρώτα στα νεαρά φύλλα της κορυφής. Κατά την τροφοπενία ψευδαργύρου παρατηρείται μείωση στο μέγεθος των φύλλων, σμίκρυνση μεσογονατίων, χλωρώσεις και εκδήλωση ιώσεων (Μαυρογιαννόπουλος, 1994). Το όριο έλλειψης του είναι 15-20 mg Zn/kg ξηράς ουσίας φύλλων. Η βιολογική του δράση οφείλεται είτε στην συμμετοχή του ως δομικού συστατικού σε ορισμένα ένζυμα είτε στον ρόλο του στην ενεργοποίηση πολλών ενζύμων όταν βρίσκεται στο περιβάλλον τους. Η έλλειψη Zn έχει ως συνέπεια την ανάσχεση της σύνθεσης πρωτεϊνών, λόγω συμμετοχής του στην δομή της πολυμεράσης του RNA, συμμετοχής του Zn στα ριβοσώματα και λόγω αυξημένης αποδόμησης του RNA επειδή η απουσία Zn έχει ως συνέπεια την αυξημένη δραστηριότητα της RNάσης, η οποία καταλύει την αποδόμηση του RNA (Σάββας, 2000). Βασική πηγή Zn στις υδροπονικές καλλιέργειες αποτελεί ο θεικός ψευδάργυρος και πιο συγκεκριμένα ο επταϋδρικός θεικός ψευδάργυρος ο οποίος περιέχει μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε καθαρό Zn (Σάββας, 2012).

#### Ο Ρόλος του Χαλκού (Cu)

Μέσα στο φυτό ο χαλκός συμμετέχει στις εξής φυσιολογικές και βιοχημικές λειτουργίες:

- είναι συστατικό πλαστοκυανίνης
- ενεργοποιεί οξειδάσες (π.χ. οξειδάση κυτοχρώματος c)
- συμμετέχει στον μεταβολισμό των λιπαρών οξέων
- είναι συστατικό του ενζύμου υπεροξειδισμούτάση
- Ενώ συμβάλλει στην πρωτεϊνοσύνθεση καθώς και την βιοσύνθεση σακχάρων.

Η συγκέντρωση του χαλκού στο έδαφος βρίσκεται σε χαμηλή συγκέντρωση και συνδέεται ισχυρά με την οργανική ουσία (χουμικά και φουλβικά οξέα). Η συγκέντρωσή του δεν ξεπερνά τα 20 ppm (Ακουμιανάκης, 2007). Στα θρεπτικά διαλύματα των υδροπονικών εφαρμογών παρέχεται ως θεικός χαλκός. Ο χαλκός συμμετέχει συνδεδεμένος ενζυματικά σε αντιδράσεις οξειδαναγωγής. Τα ένζυμα του χαλκού αντιδρούν με το μοριακό οξυγόνο ως αποτέλεσμα οι τελικές οξειδώσεις στα ζωντανά κύτταρα να καταλύονται από τον χαλκό. Το όριο έλλειψης είναι 3-5μg /gr ξηρού βάρους. Η τροφοπενία χαλκού προκαλεί κακοσχηματισμό και ξάσπρισμα των νεαρών φύλλων, καθώς μείωση των μεσογονατίων διαστημάτων και νέκρωση του επάκριου μεριστώματος (Μαυρογιαννόπουλος, 1994).

#### Ο Ρόλος του Χλωρίου (Cl)

Το χλώριο εμπλέκεται στην όσμωση (η κίνηση νερού ή διαλυτών ουσιών στα κύτταρα), την ιονική ισορροπία που είναι απαραίτητη στα φυτά για να πάρουν θρεπτικά ορυκτά στοιχεία και στη φωτοσύνθεση. Τα συμπτώματα της έλλειψης χλωρίου περιλαμβάνουν

μαρασμό, κοντόχοντρες ρίζες, χλώρωση και μπρουτζίνωμα. Οι οσμές σε κάποια φυτά μπορεί να μειωθούν. Το χλωρίδιο, η ιοντική μορφή του χλωρίου που χρησιμοποιείται από τα φυτά βρίσκεται συνήθως σε διαλυτές μορφές και χάνεται με την έκπλυση. Αν τα επίπεδα του χλωρίου είναι υψηλά, κάποια φυτά μπορεί να εμφανίζουν σημάδια τοξικότητας. Πηγές χλωρίου για τα φυτά: κομπόστ, το νερό της πόλης που είναι χλωριωμένο.

#### Ο Ρόλος του Μολυβδαίνιου (Mo)

Οι απαιτήσεις των φυτών σε μολυβδαίνιο είναι ελάχιστες. Το μολυβδαίνιο είναι δομικό συστατικό των ενζύμων που μειώνουν τα νιτρικά σε αμμωνία. Χωρίς το μολυβδαίνιο, μπλοκάρεται η σύνθεση των πρωτεϊνών και σταματά η ανάπτυξη των φυτών. Τα βακτήρια του κόνδυλου της ρίζας (αζωτοβακτήρια – βακτήρια που δεσμεύουν το άζωτο) χρειάζονται επίσης το μολυβδαίνιο. Εάν υπάρχει έλλειψη μολυβδαίνιου μπορεί οι σπόροι να μην αναπτυχθούν πλήρως και μπορεί να εμφανιστεί έλλειψη αζώτου. Συμπτώματα της έλλειψης μολυβδαίνιου είναι τα χλωμά φύλλα με άκρα που στρέφουν προς τα μέσα. Πηγές μολυβδαίνιου για τα φυτά: υδατοδιαλυτά μείγματα ιχνοστοιχείων, κομπόστ. Κύρια λιπάσματα για την παρασκευή του θρεπτικού διαλύματος είναι το επταμολυβδαινικό αμμώνιο και το μολυβδαινικό νάτριο (Σάββας, 2012).

#### Ο Ρόλος του Νικελίου (Ni)

Το νικέλιο κέρδισε πρόσφατα τον χαρακτηρισμό ως ουσιώδες στοιχείο για τα φυτά, σύμφωνα με το Agricultural Research Service Plant, Soil and Nutrition Laboratory στην Νέα Υόρκη. Χρειάζεται ώστε το ένζυμο ουρεάση να διασπάσει την ουρία και να απελευθερώσει το άζωτο σε μία αξιοποιήσιμη μορφή για τα φυτά. Το νικέλιο χρειάζεται και για την απορρόφηση του σιδήρου. Οι σπόροι χρειάζονται το νικέλιο για να βλαστήσουν. Τα φυτά που μεγαλώνουν χωρίς επιπλέον νικέλιο, θα εμφανίζουν συμπτώματα έλλειψης όταν φτάσουν στο στάδιο της ωρίμανσης και της παραγωγής καρπών. Εάν υπάρχει έλλειψη νικελίου, τα φυτά δε θα παράγουν σπόρους που είναι βιώσιμοι.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ V

### 5 ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Το πείραμα πραγματοποιήθηκε κατά τη χρονική περίοδο από 28-03-16 έως 08-06-16, σε κατάλληλα διαμορφωμένο υαλόφρακτο θερμοκήπιο, στις εγκαταστάσεις του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών. Για την επίτευξη της εύρυθμης λειτουργίας του πειράματος, εγκαταστάθηκε ειδικός υδροπονικός εξοπλισμός, πλήρως αυτοματοποιημένος.

#### 5.1 ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

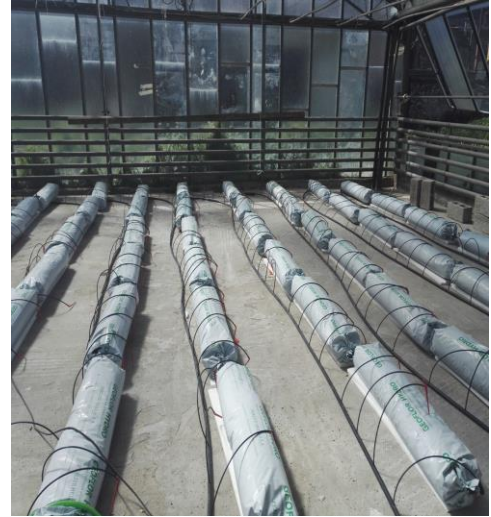
Αρχικά, στο θερμοκήπιο που φιλοξένησε το πείραμα έλαβαν χώρα, εργασίες καθαρισμού κι απολύμανσης. Έπειτα, τοποθετήθηκαν σωλήνες άρδευσης καθώς και τα αντίστοιχα ακροφύσια και οι συνδέσεις τους. Στο χώρο τοποθετήθηκαν εννέα τσιμεντόλιθοι, πάνω στους οποίους τοποθετήθηκαν οι σάκοι με περλίτη, ώστε να υπολογιστούν οι αποστάσεις μεταξύ των 9 γραμμών του πειράματος για την εύκολη μετακίνηση ανάμεσά τους (Εικόνα\_12: Αρχική οριοθέτηση γραμμών με τσιμεντόλιθους). Μεταγενέστερα, οι τσιμεντόλιθοι απομακρύνθηκαν κι αντικαταστάθηκαν από ορθογώνιες πλάκες φελιζόλ (Εικόνα\_13: Τελική μορφή τοποθέτησης περλιτών σε γραμμές). Παράλληλα, προετοιμάστηκε κατάλληλος χώρος για την ασφαλή και στερεή τοποθέτηση των πλαστικών δεξαμενών για τα θρεπτικά διαλύματα (πυκνά - αραιά), ενώ παράλληλα ζυγίστηκαν τα λιπάσματα μακροστοιχείων και ιχνοστοιχείων σύμφωνα με τις συστάσεις και τους υπολογισμούς που έγιναν με ειδικό πρόγραμμα στον Η/Υ (Εικόνα\_14: Πάνω: Τοποθέτηση πλαστικών δεξαμενών για τα θρεπτικά διαλύματα - Κάτω: Ζυγίσματα μακροστοιχείων και ιχνοστοιχείων για τα θρεπτικά διαλύματα).

*Εικόνα\_12: Αρχική οριοθέτηση γραμμών με τσιμεντόλιθους*





Εικόνα 13: Τελική μορφή τοποθέτησης περλιτών σε γραμμές πάνω σε πλάκες φελιζόλ



Εικόνα\_14: Τοποθέτηση πλαστικών δεξαμενών για τα θρεπτικά διαλύματα - Ζυγίσματα μακροστοιχείων και ιχνοστοιχείων για τα θρεπτικά διαλύματα









## 5.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

Στον χώρο του θερμοκηπίου εγκαταστάθηκε υδροπονικό σύστημα ανοικτού τύπου με 9 παράλληλες σειρές, κάθε μια από τις οποίες είχε σε σειρά διατεταγμένους 6 σάκους με περλίτη, εντός των οποίων τοποθετήθηκαν τα φυτά βάσει του πειραματικού σχεδίου που παρατίθεται παρακάτω. Εντός του θαλάμου υπήρχαν τρεις δεξαμενές, κάθε μια από τις οποίες περιείχε κατάλληλο θρεπτικό διάλυμα. Κάθε δεξαμενή σχεδιάστηκε για να τροφοδοτεί 3 σειρές και συνολικά 18 σάκους με περλίτη. Το θρεπτικό διάλυμα διανεμόταν στα φυτά μέσω σταλακτών που φέρονταν επί των πλευρικών αγωγών που ξεκινούσαν από τις αντλίες των δεξαμενών. Στον 1<sup>ο</sup>, στον 3<sup>ο</sup> και στον 5<sup>ο</sup> περλίτη κάθε σειράς, τοποθετήθηκαν από κάτω πλαστικά φύλλα εδαφοκάλυψης μεγαλύτερου εμβαδού από τους περλίτες, των οποίων οι άκρες ενώθηκαν και πιάστηκαν με μανταλάκια για να συλλεχθούν τα διαλύματα απορροής. Το διάλυμα απορροής αποβαλλόταν μέσω τρυπών που είχαν γίνει στο κάτω μέρος των σάκων και απομακρυνόταν από το θερμοκήπιο (Σχηματική απεικόνιση\_3: Πειραματικό σχέδιο).

Σχηματική απεικόνιση\_3: Πειραματικού σχεδίου



Στο πείραμα, χρησιμοποιήθηκαν 325 ζυγισμένοι σπόροι βίγνας, *Vigna unguiculata* spp *unguiculata*, από τη Λήμνο (Εικόνα\_15: 325 Ζυγισμένοι σπόροι). Στις 23 Μαρτίου του 2016, τοποθετήθηκαν οι σπόροι βίγνας (Εικόνα\_16: Τοποθέτηση σπόρων βίγνας σε τρυβλία για ριζοβολία) σε τρυβλία τα οποία είχαν πλυθεί πρώτα με σαπούνι και ξεπλυθεί με απεσταγμένο νερό (Εικόνα\_17: Διαδικασία πλυσίματος τρυβλίων). Στα τρυβλία τοποθετήθηκε διηθητικό χαρτί, κομμένο σε σχήμα στρογγυλό, όπως το σχήμα του πάτου του τρυβλίου κι απιονισμένο νερό, για να ριζοβολήσουν (Εικόνα\_18: Διαδικασία τοποθέτησης διηθητικού χαρτιού). Τα τρυβλία κλείστηκαν με αλουμινόχαρτο (Εικόνα\_19: Κλειστά με αλουμινόχαρτο τρυβλία), για να μην εκτίθενται σε φως και τοποθετήθηκαν σε σκοτεινό θάλαμο προβλάστησης (Εικόνα\_20: Τοποθέτηση τρυβλίων στο σκοτεινό θάλαμο προβλάστησης). Ανά 24ωρο, έλεγχοι πραγματοποιούνταν για την υγρασία του διηθητικού χαρτιού, με σκοπό τη ριζοβόληση υπό ασηπτικές συνθήκες.

Εικόνα_15: 325 Ζυγισμένοι σπόροι	Εικόνα_16: Τοποθέτηση σπόρων βίγνας σε τρυβλία για ριζοβολία
	
Εικόνα_17: Διαδικασία πλυσίματος τρυβλίων	Εικόνα_18: Διαδικασία τοποθέτησης διηθητικού χαρτιού
	
Εικόνα_19: Κλειστά με αλουμινόχαρτο τρυβλία	Εικόνα_20: Τοποθέτηση κλειστών με αλουμινόχαρτο, τρυβλίων στο σκοτεινό θάλαμο προβλάστησης
	

Πριν την τοποθέτηση των ριζοβολημένων σπόρων βίγνας στους περλίτες, προηγήθηκε η διαβροχή τους με περίπου 15 λίτρα διαλύματος. Στις 28/03/16, έξι ίσης απόστασης τετράγωνες οπές δημιουργήθηκαν επί του πάνω μέρους των περλιτών για την τοποθέτηση των ριζοβολημένων σπόρων βίγνας και σχισμές στην κάτω πλευρά των περλιτών για τη μεταγενέστερη συλλογή διαλύματος απορροής. Οι σπόροι εμβάπτιστηκαν σε διαλύματα βακτηρίων για 5 δευτερόλεπτα (Εικόνα\_21: Αριστερά: Εμβάπτιση ριζοβολημένων σπόρων βίγνας σε πυκνό διάλυμα αζωτοβακτηρίων – Δεξιά: Τοποθέτηση σπόρων βίγνας σε περλίτη). Πρώτα εμβάπτιστηκαν ριζοβολημένοι σπόροι βίγνας σε πυκνό διάλυμα αζωτοβακτηρίου *Bradyrhizobium spp.* (A) και τοποθετήθηκαν στον 1<sup>ο</sup> και στον 4<sup>ο</sup> σάκο περλίτη κάθε σειράς, έπειτα εμβάπτιστηκαν άλλοι ριζοβολημένοι σπόροι σε πυκνό διάλυμα αζωτοβακτηρίου *Ensifer spp* (B) και τοποθετήθηκαν στον 2<sup>ο</sup> και 5<sup>ο</sup> περλίτη κάθε σειράς και τέλος εμβάπτιστηκαν ριζοβολημένοι σπόροι βίγνας σε πυκνό διάλυμα μίγματος των παραπάνω αζωτοβακτηρίων (AB) και τοποθετήθηκαν στον 3<sup>ο</sup> και 6<sup>ο</sup> σάκο κάθε σειράς. Κάθε μια από τις 9 σειρές, είχε 6 σάκους περλιτών σύνολο 54 σάκοι περλίτη και κάθε σάκος φιλοξένησε 6 φυτά, σύνολο 324 φυτά, εκ των οποίων 108 είχαν εμβολιαστεί σε αζωτοβακτήρια *Bradyrhizobium spp.*, 108 με αζωτοβακτήρια *Ensifer spp.*, και 108 με μείγμα των ανωτέρω αζωτοβακτηρίων. Τα φυτά παρέμειναν απότιστα για χρονικό διάστημα τριών μερών, ούτως ώστε να γίνει προσκόλληση των αζωτοβακτηρίων. Έπειτα, ξεκίνησε η άρδευση των φυτών με τα κατάλληλα θρεπτικά διαλύματα, μέσω αυτόματου συστήματος στάγδην. Ο χρόνος άρδευσης ήταν ο ίδιος για όλες τις μεταχειρίσεις, ενώ η συχνότητα άρδευσης ανερχόταν σε 4-6 ποτίσματα/ημέρα, ανάλογα με τις επικρατούσες συνθήκες θερμοκρασίας και ηλιακής ακτινοβολίας, καθώς επίσης και με την ηλικία των φυτών. Κατά την εγκατάσταση των φυτών η συχνότητα άρδευσης ανερχόταν σε 4 φορές/ημέρα ενώ καθώς μεγάλωναν τα φυτά αυξήθηκε σταδιακά στις 6 φορές/ημέρα. Όπως φαίνεται και στην σχηματική απεικόνιση του πειράματος, οι σειρές 1-4-7 τροφοδοτήθηκαν με αραιό θρεπτικό διάλυμα πλήρες σε άζωτο (100%) όλη την καλλιεργητική περίοδο, οι σειρές 2-5-8 και οι σειρές 3-6-9 μέχρι την άνθηση τροφοδοτήθηκαν με αραιό θρεπτικό διάλυμα 60% του πλήρες αζώτου. Μετά το στάδιο της άνθησης, στις σειρές 2-5-8 χορηγήθηκε 30% του πλήρες αζώτου και στις σειρές 3-6-9 διακόπηκε η χορήγηση του αζώτου, ώστε να εξεταστεί η ανταπόκριση των αζωτοβακτηρίων στην πλήρη απουσία αζώτου στα φυτά της βίγνας, μέχρι το τέλος της καλλιεργητικής περιόδου.



Εικόνα\_21: Αριστερά: Εμβάπτιση ριζοβολημένων σπόρων βίγνας σε πυκνό διάλυμα αζωτοβακτηρίων – Δεξιά: Τοποθέτηση σπόρων βίγνας σε περλίτη



### 5.3 ΘΡΕΠΤΙΚΑ ΔΙΑΛΥΜΑΤΑ

Τα θρεπτικά στοιχεία καθορίστηκαν κατόπιν αξιολόγησης πολλών παραγόντων και υπολογίστηκαν μέσω προγράμματος H/Y. Αρχικά, φτιάχτηκαν 2 διαφορετικά πυκνά θρεπτικά διαλύματα. Το ένα περιείχε 100% άζωτο και το άλλο 60% άζωτο. Μετά την άνθηση, καταργήθηκε το 60% σε άζωτο θρεπτικό διάλυμα κι αντικαταστάθηκε με αλλά 2 πυκνά θρεπτικά διαλύματα, ένα που περιείχε 30% σε άζωτο για τη 2<sup>η</sup>-5<sup>η</sup>-7<sup>η</sup> σειρά και ένα χωρίς άζωτο για την τροφοδοσία της 3<sup>ης</sup>-6<sup>ης</sup>-9<sup>ης</sup> (Εικόνες\_22-24: Σύσταση πυκνού διαλύματος 100-60-0% N –Πίνακας\_6). Κάθε πυκνό θρεπτικό διάλυμα (Α και Β) κάθε φόρμουλας παρασκευαζόταν σε δεξαμενές των 20 λίτρων με διάλυση των απαιτούμενων ποσοτήτων υδατοδιαλυτών λιπασμάτων σε νερό. Τα αντίστοιχα αραιά θρεπτικά διαλύματα περιεκτικότητας 1% κατ' όγκο, με τα οποία τροφοδοτούνταν τα φυτά, παρασκευάζονταν σε δεξαμενές των 190 λίτρων από 1,9 λίτρα κάθε πυκνού διαλύματος Α και Β αραιωμένα σε 186,2 λίτρα νερό. Κατά την παρασκευή του τελικού διαλύματος τροφοδοσίας των φυτών ήταν απαραίτητη η μέτρηση και η ρύθμιση τόσο την ηλεκτρικής αγωγιμότητας (με αγωγιμόμετρο τύπου Crimson Cm25) όσο και του pH (με πεχάμετρο τύπου Crimson pH 25) σύμφωνα με την αντίστοιχη συνταγή, με τα κατάλληλα ml αραιού φωσφορικού οξέος (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>) για την καλύτερη απορρόφηση των θρεπτικών στοιχείων (Εικόνα\_25: Παρασκευή θρεπτικών διαλυμάτων).

Εικόνα 22: Σύσταση πυκνού διαλύματος 100% N

ΘΡΕΠΤΙΚΟ ΔΙΑΛΥΜΑ ΓΙΑ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΣΕ ΠΕΡΑΙΤΗ											
ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ										Καλλιεργητής: ΓΠΑ - EUROLEGUME	
Πυκνό διάλυμα	V, m <sup>3</sup>	A	Επιθυμητά χαρακτηριστικά Θ.Δ.	Χημική σύσταση νερού	Καλλιεργούμενο είδος: Αμπελοφάσουλο						
Πυκνό διάλυμα A	0,02	100	E <sub>r</sub> *	1,80 dS/m	E.C.	0,32 dS/m					
Πυκνό διάλυμα B	0,02	100	pH opt.	5,6	pH	7,3					
Πυκνό διάλυμα οξέως	0,02	200	[K]	5,500 mmol/l	Ca <sup>2+</sup>	1,00 mmol/l					
Επιλογή λιπάσματος φωσφόρου:			[Ca]	3,400 mmol/l	Mg <sup>2+</sup>	0,30 mmol/l					
Επιλέξετε 1 για φωσφορικό μονοκάλιο ή 2 για φωσφορικό οξύ	2		[Mg]	1,500 mmol/l	K <sup>+</sup>	0,00 mmol/l					
			[NO <sub>3</sub> ]	12,000 mmol/l	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0,00 mmol/l					
Επιλογή λιπάσματος βορίου:			[NH <sub>4</sub> ]	1,600 mmol/l	Na <sup>+</sup>	0,30 mmol/l					
Επιλέξετε 1 για βορικό οξύ, 2 για τετραβορικό νάτριο (βόρακας) ή 3 για οκταβορικό νάτριο (solubor)	1		[H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> ]	1,800 mmol/l	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0,20 mmol/l					
			[Fe] <sub>i</sub>	12,00 μmol/l	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0,00 mmol/l					
Επιλογή λιπάσματος μολυβδανίου:			[Mn] <sub>i</sub>	6,00 μmol/l	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	0,00 mmol/l					
Επιλέξετε 1 για επταμολυβδανικό αμμώνιο ή 2 για μολυβδανικό νάτριο	2		[Zn] <sub>i</sub>	4,00 μmol/l	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	2,20 mmol/l					
			[Cu] <sub>i</sub>	0,50 μmol/l	Cl <sup>-</sup>	0,30 mmol/l					
Επιθυμητές τιμές K, Ca, Mg:			[B] <sub>i</sub>	20,00 μmol/l	Fe	0,00 μmol/l					
Επιλέξετε 1 για αναλογία K:Ca:Mg (mmol/mmol) ή 2 για συγκεντρώσεις (mmol/L)	2		[Mo] <sub>i</sub>	0,50 μmol/l	Mn <sup>2+</sup>	0,00 μmol/l					
			[Si] <sub>i</sub>	0,00 μmol/l	Zn <sup>2+</sup>	2,15 μmol/l					
Επιλέξετε 1 για εισαγωγή επιθυμητής τιμής N/K (mmol/mmol) ή 2 για επιθυμητή συγκέντρωση NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mmol/L)	2		% καθαρό λίπασμα		Cu <sup>+</sup>	0,00 μmol/l					
			καθαρό HNO <sub>3</sub>	68 (% w/w)	B	0,00 μmol/l					
Επιλέξετε 1 για εισαγωγή επιθυμητής τιμής NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> /(NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> +NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) (mmol/mmol) ή 2 για επιθυμητή συγκέντρωση NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mmol/L)	2		καθαρό H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	85 (% w/w)	Mo	0,00 μmol/l					
			Fe σε χηλικό Fe	6 (% w/w)	Si	0,00 mmol/l					
			CaCl	0,00	Σcat <sub>w</sub>	2,90 meq/l					
			Λιπάσματα (kg/δοχείο)	1,598	Σan <sub>w</sub>	2,90 meq/l					
ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ											
Κατιόντα/ανιόντα	C.C.S	C.C.W.	C.A.F.	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	Si		
C.A.S.	17,20			2,70	12,00	1,80	0,40	0,30	0,00		
C.A.W.		2,90		0,40	0,00	0,00	2,20	0,30	0,00		
A.A.F.			16,10	2,30	12,00	1,80	0,00	0,00	0,00		
Ca <sup>2+</sup>	6,80	2,00	4,80	0,00	4,80	0,00	0,00	0,00	0,00		
Mg <sup>2+</sup>	3,00	0,60	2,40	2,30	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00		
K <sup>+</sup>	5,50	0,00	5,50	0,00	5,50	0,00	0,00	0,00	0,00		
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	1,60	0,00	1,60	0,00	1,60	0,00	0,00	0,00	0,00		
Na <sup>+</sup>	0,30	0,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
H <sup>+</sup>	0,00	0,00	1,80	0,00	0,00	1,80	0,00	0,00	0,00		
* Σημαντική παρατήρηση: Επιθυμητή τιμή ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC) εισάγεται μόνο όταν καθορίζονται επιθυμητές αναλογίες για τα μακροκατιόντα (K:Ca:Mg). Όταν εισάγονται επιθυμητές συγκεντρώσεις K, Ca, Mg, τότε το πρόγραμμα θα υπολογίσει αυτόματα την EC που αντιστοιχεί σε αυτές τις συγκεντρώσεις.											
[K]	17,58	Σ <sub>cation(n.s.)</sub>		17,20							
[NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ]	105,6	Σ <sub>anion(n.s.)</sub>		17,20							

Εικόνα 23: Σύσταση πυκνού διαλύματος 60% N

ΘΡΕΠΤΙΚΟ ΔΙΑΛΥΜΑ ΓΙΑ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΣΕ ΠΕΡΑΙΤΗ											
ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ										Καλλιεργητής: ΓΠΑ - EUROLEGUME	
Πυκνό διάλυμα	V, m <sup>3</sup>	A	Επιθυμητά χαρακτηριστικά Θ.Δ.	Χημική σύσταση νερού	Καλλιεργούμενο είδος: Αμπελοφάσουλο						
Πυκνό διάλυμα A	0,02	100	E <sub>r</sub> *	1,80 dS/m	E.C.	0,32 dS/m					
Πυκνό διάλυμα B	0,02	100	pH opt.	5,6	pH	7,3					
Πυκνό διάλυμα οξέως	0,02	200	[K]	5,500 mmol/l	Ca <sup>2+</sup>	1,00 mmol/l					
Επιλογή λιπάσματος φωσφόρου:			[Ca]	3,400 mmol/l	Mg <sup>2+</sup>	0,30 mmol/l					
Επιλέξετε 1 για φωσφορικό μονοκάλιο ή 2 για φωσφορικό οξύ	2		[Mg]	1,500 mmol/l	K <sup>+</sup>	0,00 mmol/l					
			[NO <sub>3</sub> ]	6,560 mmol/l	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0,00 mmol/l					
Επιλογή λιπάσματος βορίου:			[NH <sub>4</sub> ]	1,600 mmol/l	Na <sup>+</sup>	0,30 mmol/l					
Επιλέξετε 1 για βορικό οξύ, 2 για τετραβορικό νάτριο (βόρακας) ή 3 για οκταβορικό νάτριο (solubor)	1		[H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> ]	1,800 mmol/l	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0,20 mmol/l					
			[Fe] <sub>i</sub>	12,00 μmol/l	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0,00 mmol/l					
Επιλογή λιπάσματος μολυβδανίου:			[Mn] <sub>i</sub>	6,00 μmol/l	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	0,00 mmol/l					
Επιλέξετε 1 για επταμολυβδανικό αμμώνιο ή 2 για μολυβδανικό νάτριο	2		[Zn] <sub>i</sub>	4,00 μmol/l	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	2,20 mmol/l					
			[Cu] <sub>i</sub>	0,50 μmol/l	Cl <sup>-</sup>	0,30 mmol/l					
Επιθυμητές τιμές K, Ca, Mg:			[B] <sub>i</sub>	20,00 μmol/l	Fe	0,00 μmol/l					
Επιλέξετε 1 για αναλογία K:Ca:Mg (mmol/mmol) ή 2 για συγκεντρώσεις (mmol/L)	2		[Mo] <sub>i</sub>	0,50 μmol/l	Mn <sup>2+</sup>	0,00 μmol/l					
			[Si] <sub>i</sub>	0,00 μmol/l	Zn <sup>2+</sup>	2,15 μmol/l					
Επιλέξετε 1 για εισαγωγή επιθυμητής τιμής N/K (mmol/mmol) ή 2 για επιθυμητή συγκέντρωση NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mmol/L)	2		% καθαρό λίπασμα		Cu <sup>+</sup>	0,00 μmol/l					
			καθαρό HNO <sub>3</sub>	68 (% w/w)	B	0,00 μmol/l					
Επιλέξετε 1 για εισαγωγή επιθυμητής τιμής NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> /(NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> +NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) (mmol/mmol) ή 2 για επιθυμητή συγκέντρωση NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mmol/L)	2		καθαρό H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	85 (% w/w)	Mo	0,00 μmol/l					
			Fe σε χηλικό Fe	6 (% w/w)	Si	0,00 mmol/l					
			CaCl	0,00	Σcat <sub>w</sub>	2,90 meq/l					
			Λιπάσματα (kg/δοχείο)	1,523	Σan <sub>w</sub>	2,90 meq/l					
ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ											
Κατιόντα/ανιόντα	C.C.S	C.C.W.	C.A.F.	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	Si		
C.A.S.	17,20			8,14	6,56	1,80	0,40	0,30	0,00		
C.A.W.		2,90		0,40	0,00	0,00	2,20	0,30	0,00		
A.A.F.			16,10	7,74	6,56	1,80	0,00	0,00	0,00		
Ca <sup>2+</sup>	6,80	2,00	4,80	0,00	4,80	0,00	0,00	0,00	0,00		
Mg <sup>2+</sup>	3,00	0,60	2,40	2,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
K <sup>+</sup>	5,50	0,00	5,50	5,34	0,16	0,00	0,00	0,00	0,00		
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	1,60	0,00	1,60	0,00	1,60	0,00	0,00	0,00	0,00		
Na <sup>+</sup>	0,30	0,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
H <sup>+</sup>	0,00	0,00	1,80	0,00	0,00	1,80	0,00	0,00	0,00		
* Σημαντική παρατήρηση: Επιθυμητή τιμή ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC) εισάγεται μόνο όταν καθορίζονται επιθυμητές αναλογίες για τα μακροκατιόντα (K:Ca:Mg). Όταν εισάγονται επιθυμητές συγκεντρώσεις K, Ca, Mg, τότε το πρόγραμμα θα υπολογίσει αυτόματα την EC που αντιστοιχεί σε αυτές τις συγκεντρώσεις.											
[K]	12,36	Σ <sub>cation(n.s.)</sub>		17,20							
[NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ]	57,28	Σ <sub>anion(n.s.)</sub>		17,20							

Εικόνα 24 Σύσταση πυκνού διαλύματος 30% N



Εικόνα \_24 Σύσταση πυκνού διαλύματος 0% N

ΘΡΕΠΤΙΚΟ ΔΙΑΛΥΜΑ ΓΙΑ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΣΕ ΠΕΡΛΙΤΗ									
ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ					Χημική σύσταση νερού				
Πυκνά διαλύματα	V, m <sup>3</sup>	A	Επιθυμητά χαρακτηριστικά Θ.Δ.	Καλλιεργητής: ΓΠΑ - EUROLEGUME					
Πυκνό διάλυμα A	0,02	100	E <sub>c</sub> *	1,80 dS/m	E.C.	0,32 dS/m	Καλιεργούμενο είδος: Αμπελοφόσσυλο		
Πυκνό διάλυμα B	0,02	100	pH opt.	5,6	pH	7,3	Τύπος Θ.Δ.: Θ.Δ. χωρίς N		
Πυκνό διάλυμα οξέως	0,02	200	[K]	5,500 mmol/l	Ca <sup>2+</sup>	1,00 mmol/l	Ημερομηνία: 9-2-2016		
Επιλογή λιπάσματος φωσφόρου:			[Ca]	3,400 mmol/l	Mg <sup>2+</sup>	0,30 mmol/l	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΕΣ ΜΑΖΕΣ ΔΙΠΑΣΜΑΤΩΝ		
Επιλέξτε 1 για φωσφορικό μονοκάλιο ή 2 για φωσφορικό οξύ	2		[Mg]	1,500 mmol/l	K <sup>+</sup>	0,00 mmol/l	E.C.	1,74 dS/m	
Επιλογή λιπάσματος βορίου:			[NO <sub>3</sub> ]	0,000 mmol/l	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0,00 mmol/l	pH	5,6	
Επιλέξτε 1 για βορικό οξύ, 2 για τετραβορικό νάτριο (βόρακας) ή 3 για οκταβορικό νάτριο (solubor)	1		[NH <sub>4</sub> ]	0,000 mmol/l	Na <sup>+</sup>	0,30 mmol/l	Πυκνό διάλυμα A 20 ΛΙΤΡΑ		
Επιλογή λιπάσματος μολυβδαινίου:			[H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> ]	1,800 mmol/l	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0,20 mmol/l	1 Νιτρικό ασβέστιο	0,000	Kg
Επιλέξτε 1 για επταμολυβδαινικό αμμώνιο ή 2 για μολυβδαινικό νάτριο	2		[Fe]	12,00 μmol/l	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0,00 mmol/l	7 Χλωριούχο ασβέστιο	1,067	kg
Επιθυμητές τιμές K, Ca, Mg:			[Mn]	6,00 μmol/l	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	0,00 mmol/l	2 Νιτρικό κάλιο	0,001	Kg
Επιλέξτε 1 για αναλογία K:Ca:Mg (mmol/mmol) ή 2 για συγκεντρώσεις (mmol/L)	2		[Zn]	4,00 μmol/l	CaCl <sub>2</sub>	2,20 mmol/l	3 Νιτρικό αμμώνιο	0,000	Kg
Επιλέξτε 1 για εισαγωγή επιθυμητής τιμής N/K (mmol/mmol) ή 2 για επιθυμητή συγκέντρωση NO <sub>3</sub> (mmol/L)	2		[Cu]	0,50 μmol/l	Cl <sup>-</sup>	0,30 mmol/l	4 Χηλικός σίδηρος	0,022	Kg
Επιλέξτε 1 για εισαγωγή επιθυμητής τιμής NH <sub>4</sub> /(NH <sub>4</sub> +NO <sub>3</sub> ) (mmol/mmol) ή 2 για επιθυμητή συγκέντρωση NH <sub>4</sub> (mmol/L)	2		[B]	20,00 μmol/l	Fe	0,00 μmol/l	Πυκνό διάλυμα B 20 ΛΙΤΡΑ		
			[Mo]	0,50 μmol/l	Mn <sup>2+</sup>	0,00 μmol/l	1 Νιτρικό κάλιο	0,000	Kg
			[Si]	0,00 mmol/l	Zn <sup>2+</sup>	2,15 μmol/l	2 Θεϊκό μαγνήσιο	0,591	Kg
			% καθαρό λίπασμα		Cu <sup>2+</sup>	0,00 μmol/l	3 Νιτρικό μαγνήσιο	0,000	Kg
			καθαρό HNO <sub>3</sub>	68 (% w/w)	B	0,00 μmol/l	4 Φωσφορικό μονοκάλιο	0,000	Kg
			καθαρό H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	85 (% w/w)	Mo	0,00 μmol/l	5 Θεϊκό κάλιο	0,958	Kg
			Fe σε χηλικό Fe	6 (% w/w)	Si	0,00 mmol/l	6 Φωσφορικό οξύ	0,246	λίτρα
			CaCl	4,80	Σcat <sub>w</sub>	2,90 meq/l	8 Θεϊκό μαγγάνιο	2,03	g
			Λιπάσματα (kg/δοχείο)	0,912	Σan <sub>w</sub>	2,90 meq/l	9 Θεϊκός ψευδάργυρος	1,06	g
							10 Θεϊκός χαλκός	0,25	g
							11 Βορικό οξύ	2,47	g
							12 Βόρακας	0,00	g
							13 Solubor	0,00	g
							14 Επταμολυβδαινικό αμμώνιο	0,00	g
							15 Μολυβδαινικό νάτριο	0,24	g
							Πυκνό διάλυμα οξέως 20 ΛΙΤΡΑ		
							1 Νιτρικό οξύ	-0,001	λίτρα
							Υπολογισμοί (C <sub>2</sub> ) για προσθήκη οξέως		
							[H <sub>2</sub> O] <sub>w</sub>	5,012E-08	
							B <sub>w</sub>	11,01	
							[CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> ]+[HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ]+[H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ]	0,0024222	
							[H <sub>2</sub> O] <sub>(n.s.)</sub>	2,512E-06	
							B <sub>(n.s.)</sub>	1,1995302	
							[K]	5,50	Σ <sub>cation(n.s.)</sub> 15,60
							[NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ]	0	Σ <sub>anion(n.s.)</sub> 15,60

Εικόνα \_25: Παρασκευή θρεπτικών διαλυμάτων



ΠΙΝΑΚΑΣ\_6: ΘΡΕΠΤΙΚΩΝ ΔΙΑΛΥΜΑΤΩΝ

	100% N	60% N	30% N	0% N
EC				1,74 dS/m
pH			5,60	
ΜΑΚΡΟΣΤΟΙΧΕΙΑ (mmol/l)	100% N	60% N	30% N	0% N
K			5,5	
Ca			3,4	
Mg			1,5	
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>		1,6		0

NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	12	6,56	2,254	0
SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	1,35	4,07	4,95	4,15
P	1,8	1,8	1,8	1,8
I ΧΝΟΣΤΟΙΧΕΙΑ (μmol/l)	100% N	60% N	30% N	0% N
Fe	12			
Mn	6			
Zn	3,997			
Cu	0,5			
B	20			
Mo	0,5			

## 5.4 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

Ανά τακτά χρονικά διαστήματα πραγματοποιούνταν μετρήσεις του pH και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας στις δεξαμενές των αραιών θρεπτικών διαλυμάτων, προκειμένου να ελέγχεται και να διατηρείται σε επιθυμητά επίπεδα.

### 5.4.1 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ

Κατά την διάρκεια του πειράματος έγιναν 3 δειγματοληψίες, σε συγκεκριμένα στάδια ανάπτυξης, ώστε να προσδιοριστεί κατά πόσο επηρεάστηκαν τα φυτά της βίγνας στα διάφορα επίπεδα αζώτου με τη συμβίωση φυτών-αζωτοβακτηρίων. Μετρήθηκε η ανάπτυξη και η παραγωγή βιομάζας τόσο του υπέργειου τμήματος των φυτών, όσο και του ριζικού τους συστήματος, αλλά και του συνολικού ρυθμού ανάπτυξης των φυτών στο τέλος της καλλιεργητικής περιόδου. Παράλληλα, έγινε καταμέτρηση του αριθμού των φυματίων που είχαν αναπτυχθεί επι των ριζών και το βάρος τους σε κάθε ρίζα (Εικόνα\_26: Συλλογή δειγμάτων υπέργειου μέρους – Εικόνα\_27: Συλλογή υπόγειου συστήματος και μετρήσεις φυματίων). Οι δειγματοληψίες αυτές έγιναν τις εξής ημερομηνίες:

- 1<sup>η</sup> δειγματοληψία: 26/4/2016
- 2<sup>η</sup> δειγματοληψία: 19/5/2016, στο στάδιο της ανθοφορίας
- 3<sup>η</sup> δειγματοληψία: 7/6/2016, στο στάδιο της συγκομιδής

Σε κάθε δειγματοληψία, τυχαία επιλεγόταν ένα φυτό από κάθε σάκο με περλίτη και αυθημερόν λαμβάνονταν μετρήσεις νωπού βάρους του υπέργειου τμήματος των φυτών και νωπού βάρους των ριζών των φυτών με ηλεκτρονικό ζυγό ακριβείας 0,01g (Mettler PE 600), καθώς επίσης και αριθμού και βάρους φυματίων ανά ρίζα φυτού. Τα φυμάτια καταμετρήθηκαν μετά από τον καθαρισμό των υπολειμμάτων περλίτη στο ριζικό σύστημα κάθε φυτού και στην συνέχεια ζυγίστηκαν σε ζυγαριά ακριβείας. Στη συνέχεια,



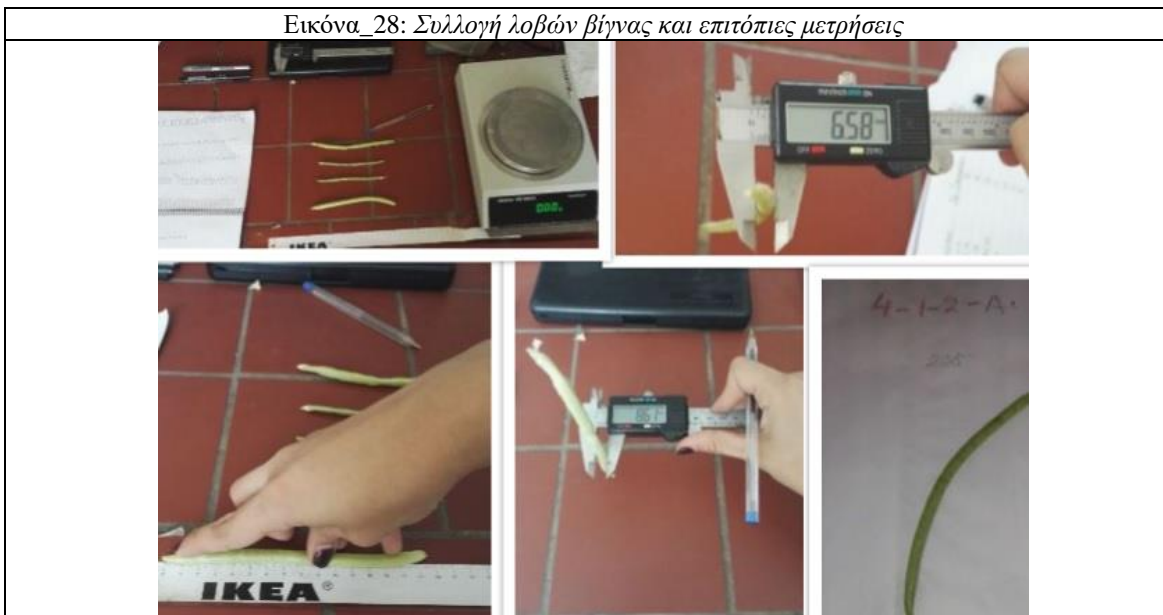
οι ιστοί των υπέργειων μερών των φυτών και οι ρίζες τους μεταφέρονταν εντός φούρνου θερμοκρασίας 105°C για παραμονή τους μέχρι τελικής σταθεροποίησης τους βάρους τους με σκοπό τον προσδιορισμό της βιομάζας τους μέσω μέτρησης του ξηρού τους βάρους σε ζυγό ακριβείας 0,01g (Mettler PE 600).

Εικόνα_26: Συλλογή δειγμάτων υπέργειου μέρους	Εικόνα_27: Συλλογή υπόγειου συστήματος και μετρήσεις φυματίων
	

#### 5.4.2 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΣΕ ΛΟΒΟΥΣ ΒΙΓΝΑΣ

Κατά την περίοδο που οι λοβοί βρίσκονταν στον κατάλληλο βαθμό ωρίμανσης, πραγματοποιήθηκαν οι εξής 6 διαδοχικές συγκομιδές για τον προσδιορισμό του μεγέθους παραγωγής: 23/5/2016, 25/5/2016, 27/5/2016, 29/5/2016, 31/5/2016 & 01/6/2016. Σε κάθε συγκομιδή συλλέγονταν οι καρποί που βρίσκονταν στο στάδιο του εμπορικού μεγέθους και αυθημερόν προσδιορίζονταν το νωπό βάρος κάθε καρπού, το μήκος του, η διάμετρος του καθώς επίσης και ο αριθμός σπερμάτων που περιείχε (Εικόνα\_28: Συλλογή λοβών βίγνας και επιτόπιες μετρήσεις). Στη συνέχεια, οι καρποί μεταφέρονταν εντός φούρνου θερμοκρασίας 65°C, όπου παρέμεναν μέχρι τελικής σταθεροποίησης του βάρους τους, και τότε προσδιοριζόταν σε ζυγαριά ακριβείας και το ξηρό τους βάρος (Εικόνα\_29: Τοποθέτηση δειγμάτων επι ξηραντηρίου και μετρήσεις ξηρού βάρους).

Εικόνα\_28: Συλλογή λοβών βίγνας και επιτόπιες μετρήσεις



Εικόνα\_29: Τοποθέτηση δειγμάτων επι ξηραντηρίου και μετρήσεις ξηρού βάρους



#### 5.4.3 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΘΡΕΠΤΙΚΩΝ ΣΤΟ ΥΠΕΡΓΕΙΟ ΜΕΡΟΣ

Στα φυτά που επιλέχθηκαν τυχαία κατά τις δειγματοληψίες για τον προσδιορισμό της παραγωγής βιομάζας έγινε προσδιορισμός των θρεπτικών τους στοιχείων. Η προεργασία (Εικόνα\_30: Προετοιμασία δειγμάτων) πραγματοποιήθηκε με βάση το κάτωθι εργαστηριακό πρωτόκολλο

- Άλεσμα δειγμάτων σε μύλο (0,5mm κόσκινο) μετά την μέτρηση του ξηρού τους βάρους.
- Οξείδωση μέσω υψηλής θερμοκρασίας εντός πυραντηρίου.

Απαιτούμενα υλικά & όργανα :

- Υδροχλωρικό οξύ HCl 1 N (σε 245 ml απεσταγμένο νερό βάζουμε 5ml HCl ώστε να προκύψει τελικό διάλυμα όγκου 250 ml)
- 80 φλάσκες των 100 ml
- Φίλτρα διήθησης ashless (υπό μορφή χωνιών)
- Απεσταγμένο νερό

- Γυάλινο ογκομετρητή 250 ml 40 κάψες πορσελάνης
- Ζυγαριά ακριβείας
- Πυραντήριο

Διαδικασία:

- Ζύγισμα 0,5gr δείγματος αλεσμένου σε μύλου και τοποθέτησή του σε μια κάψα πορσελάνης.
- Τοποθέτηση των καψών πορσελάνης εντός του πυραντηρίου στους 550°C για 8 ώρες
- Αφού κρυώσουν οι κάψες μέσα στο πυραντήριο, τις στήνουμε στον εργαστηριακό πάγκο και μέσα σε κάθε κάψα προστίθενται 10 ml HCl 1N και αφήνουμε σε ηρεμία για περίπου 5 λεπτά.
- Στη συνέχεια, η στάχτη του δείγματος μαζί με το HCl μεταφέρονται από τις κάψες σε ογκομετρικές φιάσκες των 100 ml περνώντας μέσα από διηθητικό χαρτί ashless, προσέχοντας το περιεχόμενο των καψών να διοχετευθεί όλο εντός των φιασκών. Ακολούθως, συμπληρώνουμε τις φιάσκες έως τα 100 ml με απεσταγμένο νερό.
- Ανακινούμε καλά τις φιάσκες και με πιπέτα του 1ml παίρνουμε ποσότητα 1ml από κάθε δείγμα και το βάζουμε σε νέα φιάσκα των 100 ml, την οποία επίσης απογεμίζουμε έως τα 100ml, ανακινούμε καλά και έτσι έχουμε αραιωμένο διάλυμα 1%. Το περιεχόμενο των αρχικών φιασκών το μεταφέρουμε σε πλαστικά μπουκαλάκια των 100ml ενώ το περιεχόμενο των δεύτερων φιασκών με το αραιωμένο διάλυμα μέσα σε falcon των 50ml και τα δείγματα πλέον είναι έτοιμα για περαιτέρω ανάλυση.

Εικόνα 30: Προετοιμασία δειγμάτων



Οι μετρήσεις των συγκεντρώσεων των στοιχείων (Ca, Mg, Mn, Zn, Fe) προσδιορίστηκαν μέσω των πυκνών διαλυμάτων τους στην ατομική απορρόφηση (atomic absorption spectroscopy ή AAS). Στο φασματοφωτόμετρο ατομικής Απορρόφησης κάθε φορά

επιλεγόταν η κατάλληλη λυχνία με το χαρακτηριστικό μήκος κύματος για το κάθε στοιχείο. Με την ατομική απορρόφηση γίνεται μέτρηση της απορρόφησης ακτινοβολίας από τα άτομα που βρίσκονται σε θεμελιώδη ενεργειακή κατάσταση. Στη μέθοδο αυτή, οι χρησιμοποιούμενες πηγές ακτινοβολίας είναι ίδιες με το στοιχείο προς ανίχνευση ή/και μέτρηση. Αποτελείται από μία κάθοδο φτιαγμένη από το μέταλλο προς ανίχνευση και ο τρόπος λειτουργίας της είναι ο παρακάτω: Με την παροχή ηλεκτρικού ρεύματος, ηλεκτρόνια από την κάθοδο (-) επιταχύνονται προς την άνοδο(+). Κατά την διαδρομή τους, συγκρούονται και ιονίζουν τα άτομα του ευγενούς αερίου, με το οποίο είναι γεμάτη η λυχνία, τα οποία με την σειρά τους επιταχύνονται προς την κάθοδο. Η ενέργεια αυτών των ιονισμένων σωματιδίων του ευγενούς αερίου είναι αρκετή για να αποσπάσει μερικά άτομα του μετάλλου από την επιφάνεια της καθόδου. Τα άτομα αυτά του μετάλλου, διεγείρονται ενεργειακά από τις συγκρούσεις τους με τα άτομα του ευγενούς αερίου και εκπέμπουν ακτινοβολία, χαρακτηριστική με αυτή του μετάλλου προς ανίχνευση (Εικόνα\_31: Φασματοφωτόμετρο ατομικής Απορρόφησης). Για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης ασβεστίου και μαγνησίου στα δείγματα χρησιμοποιήθηκαν τα αραιωμένα 1:100 διαλύματα εντός των falcon. Για τον προσδιορισμό του μαγγανίου, του ψευδαργύρου και του σιδήρου στα δείγματα χρησιμοποιήθηκαν τα πυκνά διαλύματα τους που προέκυψαν μετά την καύση τους και βρίσκονταν εντός των πλαστικών μπουκαλιών των 100ml.

Εικόνα 31: Φασματοφωτόμετρο ατομικής Απορρόφησης



Για τον προσδιορισμό του καλίου, χρησιμοποιήθηκε το φλογοφωτόμετρο (Εικόνα\_32: Φλογοφωτόμετρο). Η χρήση του φλογοφωτόμετρου γίνεται για τον προσδιορισμό των αλκαλίων και των μετάλλων των αλκαλίων, στοιχεία που διεγείρονται εύκολα. Τα στοιχεία απορροφούν ενέργεια από μια οξειδωτική φλόγα αέρα-προπανίου και στην συνέχεια εκπέμπουν την απορροφούμενη ενέργεια με την μορφή ακτινοβολίας, δίνοντας φάσματα εκπομπής. Το στοιχείο

που θέλουμε προσδιορίσουμε εισάγεται στην συσκευή ως διάλυμα ενός άλατος. Μέρος αυτού, ψεκάζεται με μορφή νέφους στην οξειδωτική φλόγα, όπου ο διαλύτης εξατμίζεται. Τα ηλεκτρόνια της εξωτερικής στιβάδας των ατόμων του προσδιοριζόμενου στοιχείου, διεγείρονται, λόγω της θερμοκρασίας της φλόγας και κατά την αποδιέγερσή τους εκπέμπουν ακτινοβολία χαρακτηριστικού μήκους κύματος. Η ακτινοβολία που εκπέμπει το στοιχείο κατά την αποδιέγερσή του, με την βοήθεια φακών και κατόπτρων οδηγείται μέσω ενός φίλτρου σε φωτοκύτταρο. Το φωτοκύτταρο χρησιμοποιείται για την απόκλιση του γαλβανόμετρου, το οποίο είναι βαθμολογημένο σε αυθαίρετη κλίμακα. Η απόκλιση του γαλβανόμετρου είναι ανάλογη με την ένταση της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας, ανάλογη με την συγκέντρωση του προσδιοριζόμενου στοιχείου.

Εικόνα 32: Φλογοφωτόμετρο



Για να προσδιοριστεί η συγκέντρωση Φωσφόρου στα δείγματα χρησιμοποιήθηκαν τα πυκνά διαλύματα και ακολουθήθηκε η παρακάτω διαδικασία. Πρώτα όμως, παρασκευάστηκαν τα εξής αντιδραστήρια, σύμφωνα με το πρωτόκολλο προσδιορισμού Φωσφόρου:

- Αντιδραστήριο Α : 55,5ml  $H_2SO_4$  σε 500ml  $H_2O$
- Αντιδραστήριο Β : 4,8gr μολυβδαινικό αμμώνιο διαλυμένα σε 100 ml θερμό  $H_2O$
- Αντιδραστήριο Γ : 0,1097gr αντιμονυλοτρυγικό κάλιο διαλυμένα σε 100 ml θερμό  $H_2O$
- Αντιδραστήριο Δ : 0,4gr ασκορβικό οξύ /100ml Murphy-Riley



Στη συνέχεια, ακολουθήθηκε η παρακάτω διαδικασία:

Αρχικά, τα αντιδραστήρια Β και Γ μαζί αναμίχθηκαν με το αντιδραστήριο Α μέσα στην κωνική φιάλη του, αφού πρώτα έπεσε η θερμοκρασία του, και έπειτα συμπληρώθηκε ο όγκος του διαλύματος μέχρι το 1L με απεσταγμένο νερό (Murphy-Riley).

Αφού δημιουργήθηκε το ανωτέρω διάλυμα, μέσα σε κωνικές φιάλες των 50ml βάλουμε 2ml από το κάθε δείγμα προς ανάλυση. Στη συνέχεια, προστέθηκαν 3-4 νιτροφαινόλης σε κάθε φιάλη, η οποία χρησιμοποιήθηκε σαν δείκτης. Συμπληρώθηκε λίγο απεσταγμένο νερό για να ανέβει η στάθμη του διαλύματος και αργότερα σε κάθε φιάλη προστέθηκαν μερικές σταγόνες NaOH 1M προς ανάπτυξη κίτρινου χρώματος. Έπειτα, προστέθηκαν 10ml ασκορβικού οξέος και έγινε ανάδευση των διαλυμάτων. Τέλος, συμπληρώθηκε ο όγκος της κάθε φιάλης έως τα 50ml με απεσταγμένο νερό και αφέθηκαν σε ηρεμία για 20 λεπτά προς ανάπτυξη μπλε χρώματος. Μετά το πέρας των 20 λεπτών, 200μl από κάθε δείγμα τοποθετήθηκαν σε microplate 96 θέσεων και μετρήθηκαν σε φασματοφωτόμετρο στα 880nm (Anthos Zenyth Biochrom).

#### ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΦΑΣΜΑΤΟΦΩΤΟΜΕΤΡΙΑΣ ΟΡΑΤΟΥ-ΥΠΕΡΙΩΔΟΥΣ (UV-VIS)

Κάποια μόρια όταν ακτινοβοληθούν, απορροφούν μέρος της ακτινοβολίας και μάλιστα κάποια συγκεκριμένα μήκη κύματος. Όσο περισσότερα μόρια υπάρχουν στην δέσμη του φωτός, τόσο περισσότερο φως απορροφάται. Επομένως, μετρώντας την διαφορά της ποσότητας του φωτός, με και χωρίς τα προς μέτρηση μόρια μπορούμε να εκτιμήσουμε την ποσότητα τους. Πρακτικά, χωρίς την χρήση φασματοφωτόμετρου, μπορεί να παρατηρηθεί και να εκτιμηθεί ποιοτικά πόσο σκούρο είναι ένα διάλυμα χρωστικής (σκούρο διάλυμα παραπέμπει σε πυκνότερο διάλυμα ενώ ανοιχτόχρωμο παραπέμπει σε αραιότερο). Χρησιμοποιώντας μια σειρά πρότυπα διαλύματα π.χ. 1, 3, 5, 10 ppm μπορεί να συγκριθεί ένα άγνωστο διάλυμα και να εκτιμηθεί ότι βρίσκεται μεταξύ 3 και 5 ppm για παράδειγμα, εφόσον η χρωματική του ένταση είναι μεταξύ του 2ου και 3ου προτύπου. Δεν μπορεί, όμως να εκτιμηθεί με ακρίβεια πόσο ppm είναι. Ποσοτικά λοιπόν, αυτό γίνεται με το φασματοφωτόμετρο, το οποίο για κάθε πρότυπο δίνει ως αποτέλεσμα έναν αριθμό (το ποσοστό του φωτός που πέρασε (διαπερατότητα % (T% από το transmission) ή το λογάριθμο της ποσότητας του φωτός που απορροφήθηκε (ABS ή απλώς A από το absorbance) οπότε, με απλούς μαθηματικούς υπολογισμούς μπορεί να εξαχθεί ακριβές αποτέλεσμα. Οι μετρήσεις γίνονται στο μήκος κύματος που παρουσιάζει την μέγιστη απορρόφηση η εξεταζόμενη ουσία, ώστε να περιοριστούν οι επιδράσεις από άλλες ουσίες που υπάρχουν στο ίδιο διάλυμα (και απορροφούν σε άλλα μήκη κύματος).

Η φασματοφωτομετρία χρησιμοποιείται ευρέως και για ουσίες που απορροφούν στο υπεριώδες αλλά και για ουσίες που δεν έχουν χρωμοφόρες ομάδες στο μόριο τους (αόρατες), αλλά γίνονται ορατές μετά από σχετικές αντιδράσεις.

#### **5.4.4 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΘΡΕΠΤΙΚΩΝ ΣΤΑ ΔΙΑΛΥΜΑΤΑ ΑΠΟΡΡΟΗΣ**

Κατά τις δειγματοληψίες φυτών που έλαβαν χώρα κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου, λήφθηκαν παράλληλα και δείγματα διαλυμάτων απορροής από κάθε σάκο περλίτη προς προσδιορισμό των θρεπτικών συστατικών που αυτά περιείχαν.

Ο προσδιορισμός των συγκεντρώσεων των νιτρικών αλάτων  $\text{NO}_3^-$  έγινε από δείγματα διαλυμάτων απορροής και από τις τρεις δειγματοληψίες, ενώ οι συγκεντρώσεις των αμμωνιακών αλάτων  $\text{NH}_4^+$  κατά την δεύτερη και τρίτη δειγματοληψία. Οι συγκεντρώσεις  $\text{NO}_3^-$  και  $\text{NH}_4^+$  στα εκχυλίσματα των δειγμάτων μετρήθηκαν με φασματοσκοπία UV / VIS στα 540 και 636 nm, αντίστοιχα, χρησιμοποιώντας το φασματοφωτόμετρο (Anthos Zenyth Biochrom) με microplate 96 θέσεων. Η συγκέντρωση νιτρικών ( $\text{NO}_3^-$ ) στα διαλύματα απορροής προσδιορίστηκε με την μέθοδο των στηλών επιχαλκωμένου καδμίου (διαδικασία Griess-Posvay), όπως περιγράφεται από τους Page et al., ενώ ο προσδιορισμός αμμωνιακών ( $\text{NH}_4^+$ ) προσδιορίστηκε με την μέθοδο της ινδοφαινόλης (indophenol blue method) στα διαλύματα απορροής που ελήφθησαν κατά το στάδιο της ανθοφορίας και το στάδιο της συγκομιδής.

Αρχή της μεθόδου: Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή, τα νιτρικά  $\text{NO}_3^-$  του εδαφικού εκχυλίσματος προσδιορίζονται, μετά την αναγωγή τους σε  $\text{NO}_2^-$ , που πραγματοποιείται με την διέλευση τους από την στήλη επιχαλκωμένου καδμίου παρουσία  $\text{NH}_4\text{Cl}$  και pH μεταξύ 5 και 10. Στη συνέχεια προσδιορίζονται χρωματομετρικά, μετρώντας την ένταση του αζωχρωμοφόρου (azo-chromophore), η οποία είναι ανάλογη της ποσότητας των  $\text{NO}_3^-$  στο έδαφος και η οποία προέκυψε από την προσθήκη σουλφανιλαμίνης και N-1-ναφθυλαιθυλενοδιαμίνης (N-(1- naphthyl)-ethylenediamine) στα σε  $\text{NO}_2^-$ .



## ΜΕΘΟΔΟΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ

### ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΑ ΟΡΓΑΝΑ

- Προχοϊδες διαμέτρου 1cm και μήκους 30cm
- Ογκομετρικές φιάλες των 100ml
- Κωνικές φιάλες των 250ml
- Φασματοφωτόμετρο U.V.

### ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΑ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΙΑ

1. Διάλυμα KCl 2M - 1500g στερεού KCl διαλύονται σε 8L νερού και στην συνέχεια αραιώνονται σε 10L.
2. Επιχαλωμένο κάδμιο - 20g Cd (χοντρή σκόνη ή κόκκοι) διαμέτρου 1mm και μήκους 2mm ή και μικρότερα, αναμιγνύονται με 250ml HCl 6N για 1 λεπτό. Μετά την απομάκρυνση του HCl, το Cd ξεπλένεται διεξοδικά με απιονισμένο νερό. Οι κόκκοι του Cd αναμιγνύονται στη συνέχεια με διάλυμα 250ml, 2% (κ.β/όγκο)  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  και το Cd ξεπλένεται διεξοδικά με απιονισμένο νερό, έως ότου το απιονισμένο νερό εξέρχεται διαυγέστατο. Στη συνέχεια το επιχαλωμένο Cd τοποθετείται στις στήλες αναγωγής (προχοϊδες).
3. Πυκνό διάλυμα χλωριούχου αμμωνίου ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ) - 100g  $\text{NH}_4\text{Cl}$  αραιώνονται σε 500ml απιονισμένου νερού και διατηρείται σε γυάλινο ή πλαστικό δοχείο.
4. Αραιό διάλυμα χλωριούχου αμμωνίου ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ) - 50g πυκνού  $\text{NH}_4\text{Cl}$  αραιώνονται σε 3lt απιονισμένου νερού και διατηρείται σε γυάλινο ή πλαστικό δοχείο.
5. Αντιδραστήρια διαζώτωσης (diazotizing) - 0,5g σουλφανιλαμίνης διαλύονται σε 100ml HCl 2,4 M. Το διάλυμα διατηρείται στο ψυγείο στους 4°C.
6. Αντιδραστήριο σύζευξης (coupling) - 0,3g (N-(1-naphthyl)-ethylenediamine) hydrochloride σε 100ml HCl 0,12M. Το διάλυμα διατηρείται στο ψυγείο σε αδιαφανή φιαλίδια.
7. Standard διάλυμα νιτρικών  $\text{NO}_3^-$  - 0,3609g  $\text{KNO}_3$  διαλύονται σε απιονισμένο νερό και αραιώνονται σε 1lt. Εάν χρησιμοποιείται καθαρό, ξηρό  $\text{KNO}_3$ , το διάλυμα περιέχει 50μg N-  $\text{NO}_3^-$ /ml. Το διάλυμα διατηρείται στο ψυγείο.

### ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΤΗΣ ΑΝΑΓΩΓΙΚΗΣ ΣΤΗΛΗΣ

Οι προχοϊδες γεμίζονται με αραιό διάλυμα  $\text{NH}_4\text{Cl}$  και προστίθεται το επιχαλωμένο Cd μέχρι ύψους 20cm. Πρέπει να εξακριβωθεί ότι οι φυσαλίδες έχουν απομακρυνθεί από τις



στήλες επιχαλκωμένου Cd. Απομακρύνεται επίσης και το πλεονάζον διάλυμα  $\text{NH}_4\text{Cl}$  με ρυθμό ροής 8ml/min. Κατά το χρονικό διάστημα που οι στήλες Cd δεν χρησιμοποιούνται, πρέπει να είναι καλυμμένες ως 1cm πάνω από τη στήλη του Cd με αραιό διάλυμα  $\text{NH}_4\text{Cl}$ . Λίγο πριν χρησιμοποιηθούν οι στήλες Cd προστίθεται 1ml πυκνού  $\text{NH}_4\text{Cl}$  (αντιδραστήριο 3) και η στάθμη του υγρού χαμηλώνεται στο ύψος περίπου της στήλης Cd. Στη συνέχεια προστίθενται 75ml αραιού  $\text{NH}_4\text{Cl}$  (αντιδραστήριο 4), έως το στόμιο της προχοΐδας.

#### ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ

Το περίσσιο διάλυμα  $\text{NH}_4\text{Cl}$  απομακρύνεται, έως ότου το διάλυμα στην προχοΐδα καλύπτει μόλις την κορυφή της στήλης. 1ml πυκνού διαλύματος  $\text{NH}_4\text{Cl}$  (αντιδραστήριο 3) προστίθεται στη στήλη Cd, καθώς και 2ml δείγματος, του οποίου η περιεκτικότητα σε  $\text{N-NO}_3^-$  δεν υπερβαίνει τα 20μg (όριο ανίχνευσης της μεθόδου). Το εκχύλισμα διέρχεται από τη στήλη επιχαλκωμένου Cd και καταλήγει σε ογκομετρική φιάλη των 100ml, ενώ προστίθεται συνεχώς διάλυμα αραιού  $\text{NH}_4\text{Cl}$  από την κορυφή μέχρι συνολικού τελικού όγκου 90ml. Στη συνέχεια ξεπλένεται το εσωτερικό της στήλης επιχαλκωμένου Cd με 2ml πυκνού  $\text{NH}_4\text{Cl}$  και 75ml αραιού διαλύματος  $\text{NH}_4\text{Cl}$ , προσέχοντας το διάλυμα  $\text{NH}_4\text{Cl}$  να είναι πάντα πάνω από την στήλη Cd. Στη συνέχεια, προστίθενται στις ογκομετρικές φιάλες των 100ml, 2ml αντιδραστήριο διαζώτου (diazotizing) και μετά από 5 λεπτά προστίθεται 2ml αντιδραστηρίου coupling. Μετά από 20 λεπτά, η ένταση του ροζ χρώματος (εκφραζόμενη σε mg  $\text{N-NO}_3^-/\text{ml}$  διαλύματος) μετριέται στο φασματοφωτόμετρο UV σε μήκος κύματος 540nm. Η ίδια διαδικασία επαναλαμβάνεται με τα standards  $\text{N-NO}_3^-$  τα οποία χρησιμοποιούνται για την καμπύλη βαθμονόμησης του οργάνου. Η καμπύλη βαθμονόμησης προκύπτει χρησιμοποιώντας δείγματα περιεκτικότητας 0,2,4,6,10 και 20μg  $\text{N-NO}_3^-$ . Για την προετοιμασία των δειγμάτων αυτών, αραιώνονται 20ml του standard διαλύματος  $\text{N-NO}_3^-$  (αντιδραστήριο 7) σε 500ml  $\text{KCl}$  2M και στη συνέχεια προστίθενται 0,1,2,3,5 και 10ml του αραιωμένου standard  $\text{N-NO}_3^-$  στην αναγωγική στήλη επιχαλκωμένου Cd.

#### ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΝΙΤΡΙΚΩΝ

Το όργανο βαθμονομείται με τα standards περιεκτικότητας  $S_1=0,02$ ,  $S_2=0,06$ ,  $S_{10}=0,2$  μg  $\text{N-NO}_3^-/\text{ml}$ . Τα υπόλοιπα standards ελέγχουν την καμπύλη βαθμονόμησης. Τα δείγματα στα οποία αναπτύχθηκε το ροζ χρώμα τοποθετούνται στο microplate και αυτό στην ειδικά θέση του οργάνου, από την οποία διέρχεται η φωτεινή δέσμη και

λαμβάνονται οι ενδείξεις. Οι ενδείξεις μπορεί να αφορούν είτε την «ευκολία» με την οποία διέρχεται η φωτεινή δέσμη μέσω του microplate (transmittance), είτε αντίστροφα την απορρόφηση της φωτεινής δέσμης (absorbance). Ο προσδιορισμός των νιτρικών στο ροζ διάλυμα γίνεται με σύγκριση των ενδείξεων των δειγμάτων με αυτές των διαλυμάτων γνωστής συγκέντρωσης (standards, π.χ. σε  $\mu\text{g/ml}$ ). Η καμπύλη αναφοράς σχηματίζεται ημιλογαριθμικά. Στην περίπτωση που μετριέται η transmittance, η συγκέντρωση των νιτρικών δίνεται από την ακόλουθη σχέση, που έχει προκύψει από μετρήσεις γνωστών διαλυμάτων:

$$C_{\text{καμπ}} = bI - R/583,2 \text{ (σε } \mu\text{g/ml)}$$

όπου bI: η ένδειξη του διαλύματος, με τη χρήση μόνο των αντιδραστηρίων

R: η ένδειξη των δειγμάτων

$$\mu\text{g N-NO}_3^-/\text{g εδάφους} = \frac{C_{\text{καμπ}} (\mu\text{g/ml}) \times V_1(\text{ml}) \times V_3(\text{ml}) \times \alpha}{V_2(\text{ml}) \times B(\text{g})} \text{ σε ppm (}\mu\text{g/g δείγματος).}$$

$C_{\text{καμπ}}$  η συγκέντρωση των νιτρικών που υπολογίζεται για κάθε δείγμα ( $\mu\text{g/ml}$ )

$V_1$  ο όγκος του εκχυλιστικού (ml KCl)

$V_2$  ο όγκος των ml των δειγμάτων για την αναγωγή σε νιτρώδη

$V_3$  ο όγκος της ογκομετρικής (σε ml), στην οποία αναπτύχθηκε το χρώμα

$\alpha$  η αραιώση (αν απαιτείται)

B Το βάρος του δείγματος (σε g) που χρησιμοποιήθηκε κατά την ανάλυση

#### ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΑΜΜΩΝΙΑΚΟΥ ΑΖΩΤΟΥ ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ) ΜΕ ΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟ ΤΗΣ ΙΝΔΟΦΑΙΝΟΛΗΣ (INDOPHENOL BLUE METHOD)

##### ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΑ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΙΑ

- Διάλυμα KCl, 2M
- Phenol-nitroprusside. Σε ογκομετρική των 100ml διαλύονται 7g phenol (στερεά μορφή) και 34mg sodium nitroprusside σε 80ml απιονισμένου νερού. Συμπληρώνουμε μέχρι τη χαραγή (100ml) και αναμιγνύουμε. Το αντιδραστήριο φυλάσσεται στο ψυγείο, σε φιάλη σκούρου χρώματος.
- Αντιδραστήριο buffered υποχλωριώδες. Σε ογκομετρική των 100ml διαλύονται 1,48g NaOH σε 70ml απιονισμένου νερού, προστίθενται 4,98g  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  και 20ml υποχλωριώδους νάτριου. Το τελικό pH θα πρέπει να είναι 11,4 – 12,2. Αραιώνουμε μέχρι τελικό όγκο 100ml.
- EDTA (ethylenediaminetetraacetic). Σε ογκομετρική των 100ml διαλύονται 6g δινατρίου EDTA σε 80ml απεσταγμένου νερού. Ρυθμίζουμε το pH σε 7, αναμιγνύουμε και αραιώνουμε σε τελικό όγκο 100ml.

- Διαλύματα αμμωνίου (NH<sub>4</sub>) γνωστής συγκέντρωσης (standards). Χρησιμοποιούνται έτοιμα του εμπορίου ή παρασκευάζονται από χημικώς καθαρό θειικό αμμώνιο.

#### ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΑΜΜΩΝΙΑΚΩΝ

- 1 Από τα διαλύματα απορροής λαμβάνονται 5ml και μεταφέρονται σε ογκομετρικές των 50ml (ή 25ml)
- 2 Προσθήκη 1ml από το αντιδραστήριο EDTA και ανάδευση. Αφήνουμε για 1΄
- 3 Προσθήκη 2ml από το αντιδραστήριο Phenol-nitroprusside και στη συνέχεια προσθήκη 4ml από το αντιδραστήριο buffered υποχλωριώδες
- 4 Συμπλήρωση του όγκου με απεσταγμένο νερό μέχρι τη χαραγή και ανάμιξη
- 5 Αναπτύσσεται μπλε χρώμα, η ανάπτυξη του οποίου υποβοηθείται με εμβάπτιση των φιαλών σε νερό θερμοκρασίας 40°C επί 30 λεπτά. Αφήνονται να κρυσώσουν (10 λεπτά)

#### ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΑΜΜΩΝΙΑΚΩΝ

Η ένταση του μπλε χρώματος που αναπτύχθηκε μετριέται στο φασματοφωτόμετρο σε μήκος κύματος 636. Τα δείγματα τοποθετούνται στο microplate και αυτό στην ειδικά θέση του οργάνου, από την οποία διέρχεται η φωτεινή δέσμη και λαμβάνονται οι ενδείξεις. Οι ενδείξεις μπορεί να αφορούν είτε την «ευκολία» με την οποία διέρχεται η φωτεινή δέσμη μέσω του microplate (transmittance), είτε αντίστροφα την απορρόφηση της φωτεινής δέσμης (absorbance). Ο προσδιορισμός των αμμωνιακών στο μπλε διάλυμα γίνεται με σύγκριση των ενδείξεων των δειγμάτων με αυτές των διαλυμάτων γνωστής συγκέντρωσης (standards, π.χ. σε µg/ml). Η καμπύλη αναφοράς σχηματίζεται ημιλογαριθμικά. Στην περίπτωση που μετριέται η transmittance, η συγκέντρωση των αμμωνιακών δίνεται από την ακόλουθη σχέση, που έχει προκύψει από μετρήσεις γνωστών διαλυμάτων:

$$\text{Caμμωνιακών} = \frac{C_{\text{καμπ}} \times V_1(\text{ml}) \times V_3(\text{ml})}{V_2(\text{ml}) \times B(\text{g})} \text{ σε ppm (}\mu\text{g/g δειγματος)}$$

$$C_{\text{καμπ}} = bI - R/145,3 \text{ (σε } \mu\text{g/ml)}$$

όπου bI: η ένδειξη του διαλύματος, με τη χρήση μόνο των αντιδραστηρίων

R: η ένδειξη των δειγμάτων

C<sub>καμπ</sub> η συγκέντρωση των αμμωνιακών που υπολογίζεται για κάθε δείγμα (µg/ml)

V<sub>1</sub> είναι ο όγκος του εκχυλιστικού(ml KCl),

- V2 ο όγκος των ml του δείγματος για την ανάπτυξη του χρώματος
- V3 όγκος της ογκομετρικής (σε ml), στην οποία αναπτύχθηκε το χρώμα
- B το βάρος του δείγματος (σε g) που χρησιμοποιήθηκε κατά την ανάλυση



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ VI

### 6. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

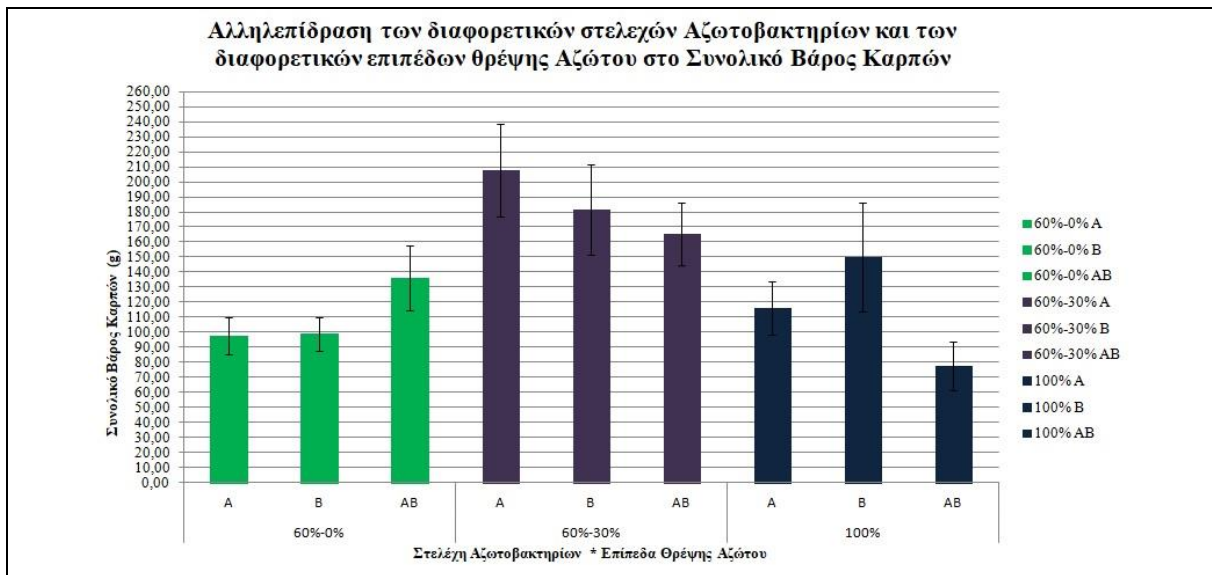
Στο πείραμα μελετήθηκε διεξοδικά η επίδραση διαφορετικής τροφοδοσίας αζώτου σε φυτά *Vigna unguiculata* spp *unguiculata*, εμβολιασμένα με τα αζωτοβακτήρια *Bradyrhizobium* spp. και *Ensifer* spp., καθώς και με το συνδυασμό τους. Για κάθε συνδυασμό επιδράσεων, έγιναν 3 επαναλήψεις. Για τη στατιστική ανάλυση των δεδομένων χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα στατιστικής ανάλυσης STATISTICA και για τη δημιουργία των σχεδιαγραμμάτων το πρόγραμμα γραφικών απεικονίσεων PLOTITW. Για τον εντοπισμό πιθανών διαφορών μεταξύ των μεταχειρίσεων, εφαρμόστηκε το κριτήριο Dunkan, σε επίπεδο σημαντικότητας 5%.

#### 6.1 ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

Οι δειγματοληψίες ξεκίνησαν όταν οι καρποί βρίσκονταν στο στάδιο της εμπορικής ωρίμανσης κι η επιλογή των φυτών έγινε τυχαία. Μετά τη συγκομιδή των λοβών καταγραφόταν ο αριθμός τους, το νωπό τους βάρος, ο αριθμός των σπερμάτων τους εσωτερικά, το μήκος τους καθώς κι η διάμετρός τους.

##### 6.1.1 ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΡΠΩΝ

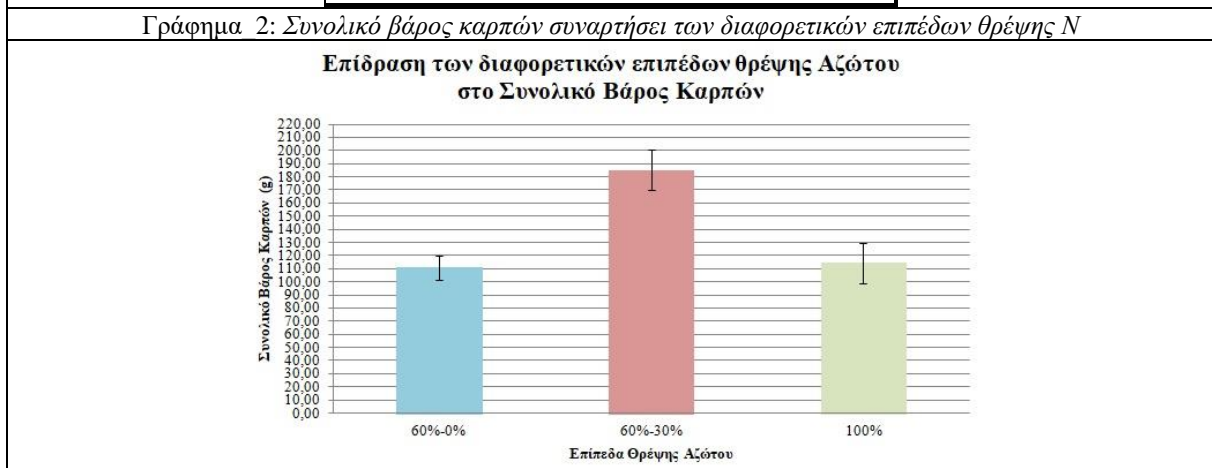
Nitrogen rate	Rhizobia strains	Total pod weight (g)
60%-0%	A	97,51
	B	98,84
	AB	135,85
60%-30%	A	<b>207,82</b>
	B	<b>181,83</b>
	AB	<b>165,75</b>
100%	A	116,01
	B	150,12
	AB	77,66



Στο γράφημα\_1 φαίνεται το συνολικό βάρος καρπών συναρτήσει των διαφορετικών αζωτοβακτηρίων (A: *Bradyrhizobium spp.*, B: *Ensifer spp.*) καθώς και του συνδυασμού τους (AB: *Bradyrhizobium spp.* και *Ensifer spp.*) στα διαφορετικά επίπεδα θρέψης N. Παρατηρείται ότι τα φυτά βίγνας που έλαβαν στην αρχή 60% N και στη συνέχεια 30% N, εμφάνισαν συνολικά μεγαλύτερο συνολικό βάρος καρπών από τις επεμβάσεις με 100% N αλλά και από την επέμβαση 60-0% N.

**Πίνακας 8: Συνολικό βάρος καρπών συναρτήσει των διαφορετικών επιπέδων θρέψης N**

Nitrogen rate	Total pod weight (g)
60%-0%	110,74
60%-30%	<b>185,13</b>
100%	114,60



Στο Γράφημα\_2, δεν παρουσιάζεται στατιστικά σημαντική διαφορά στους μέσους όρους συνολικού βάρους των καρπών, όσον αφορά την επίδραση της θρέψης πλήρους αζώτου και της θρέψης με 60-0%N. Εκεί που εντοπίζεται στατιστικά σημαντική διαφορά είναι στο μέσο όρο του συνολικού βάρους των καρπών της επίδρασης της θρέψης των φυτών

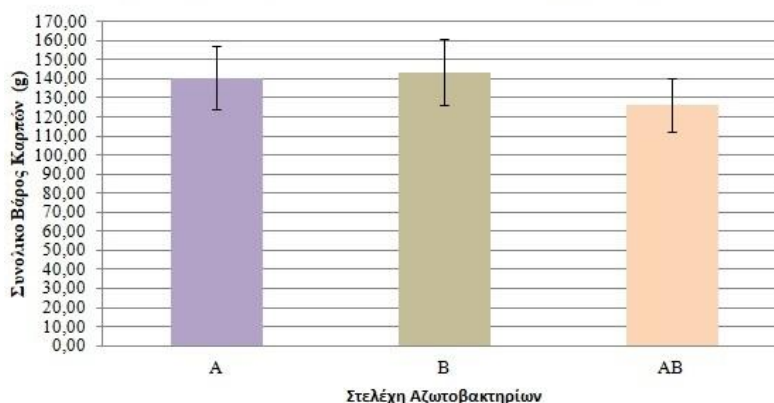
της βίγνας που τους χορηγήθηκε αρχικά 60% N και μετά την άνθηση 30% N.

Πίνακας\_9: Συνολικό βάρος καρπών συναρτήσει των διαφορετικών αζωτοβακτηρίων A:*Bradyrhizobium spp.* και B:*Ensifer spp* και του συνδυασμού τους AB: *Bradyrhizobium spp.* και *Ensifer spp.*

Rhizobia strains	Total pod weight (g)
A	140,45
B	<b>143,60</b>
AB	126,42

Γράφημα\_3: Συνολικό βάρος καρπών συναρτήσει των διαφορετικών αζωτοβακτηρίων A:*Bradyrhizobium spp.* και B:*Ensifer spp* και του συνδυασμού τους AB: *Bradyrhizobium spp.* και *Ensifer spp.*

**Επίδραση των διαφορετικών στελεχών Αζωτοβακτηρίων στο Συνολικό Βάρος Καρπών**



Όπως παρατηρούμε κι από το Γράφημα\_3, δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά στο μέσο όρο του συνολικού βάρους των καρπών, όσον αφορά την επίδραση των βακτηρίων A:*Bradyrhizobium spp.* και B:*Ensifer spp.* Παρατηρείται ότι φυτά με το στέλεχος του *Ensifer spp*, είχαν ελαφρώς μεγαλύτερο συνολικό βάρος καρπών από τα φυτά με τα στελέχη *Bradyrhizobium spp* ενώ ο συνδυασμός των 2 αζωτοβακτηρίων στα φυτά, έδωσε συνολικό βάρος καρπών μικρότερο.

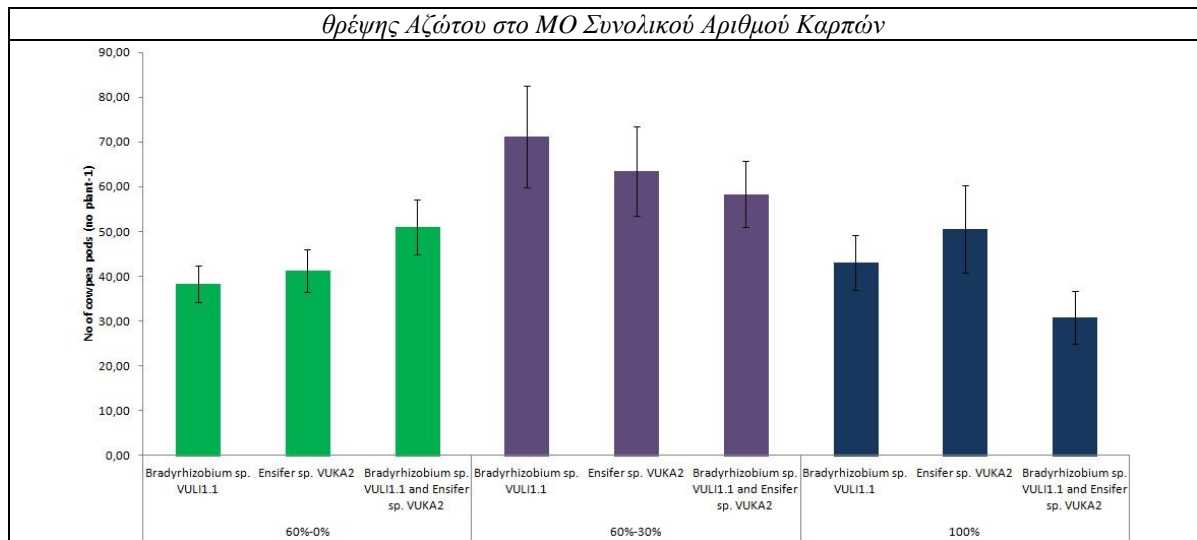
### 6.1.2 ΣΥΝΟΛΙΚΟΣ ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΑΡΠΩΝ

Πίνακας\_10: Αλληλεπίδραση των διαφορετικών στελεχών Αζωτοβακτηρίων και των διαφορετικών επιπέδων θρέψης Αζώτου στο ΜΟ Συνολικού Αριθμού Καρπών

Nitrogen rate	Rhizobia strains	Total pod Number
<b>60%-0%</b>	Bradyrhizobium sp. VULI1.1	38,21
	Ensifer sp. VUKA2	41,28
	Bradyrhizobium sp. VULI1.1 and Ensifer sp. VUKA2	50,94
<b>60%-30%</b>	Bradyrhizobium sp. VULI1.1	<b>71,18</b>
	Ensifer sp. VUKA2	<b>63,47</b>
	Bradyrhizobium sp. VULI1.1 and Ensifer sp. VUKA2	<b>58,36</b>
<b>100%</b>	Bradyrhizobium sp. VULI1.1	43,11
	Ensifer sp. VUKA2	50,56
	Bradyrhizobium sp. VULI1.1 and Ensifer sp. VUKA2	30,79

Γράφημα 4: Αλληλεπίδραση των διαφορετικών στελεχών Αζωτοβακτηρίων και των διαφορετικών επιπέδων



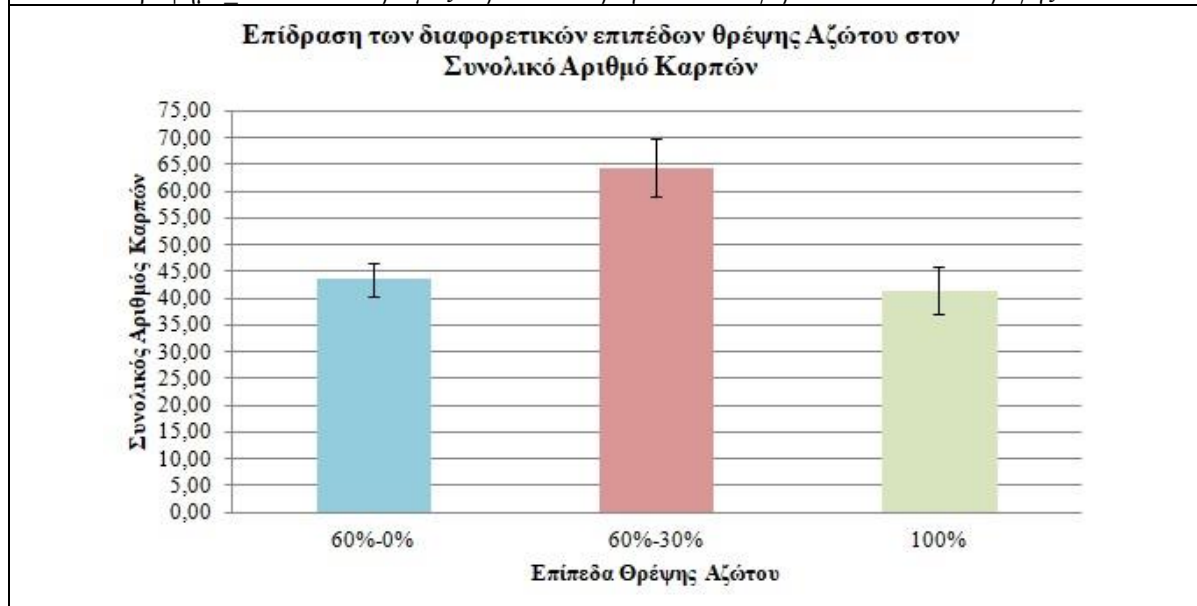


Στο γράφημα\_4 φαίνονται οι μέσοι όροι των συνολικών αριθμών καρπών συναρτήσει των διαφορετικών αζωτοβακτηρίων, καθώς και του συνδυασμού τους, στα διαφορετικά επίπεδα θρέψης N. Παρατηρείται ότι τα φυτά βίγνας, που έλαβαν στην αρχή 60% N και στη συνέχεια 30% N, εμφάνισαν συνολικά μεγαλύτερο κατά ΜΟ, συνολικό αριθμό καρπών συγκριτικά με τις επεμβάσεις, με 100% N και με 60-0% N.

Πίνακας 11: Συνολικό αριθμός καρπών συναρτήσει των διαφορετικών επιπέδων θρέψης N

Nitrogen rate	Total pod Number
60%-0%	43,48
60%-30%	<b>64,34</b>
100%	41,49

Γράφημα. 5: Συνολικό αριθμός καρπών συναρτήσει των διαφορετικών επιπέδων θρέψης N



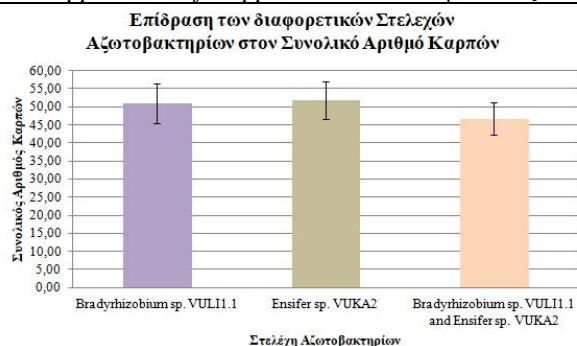
Παράλληλα, παρατηρείται κι εδώ ότι τα φυτά βίγνας που έλαβαν στην αρχή 60% N και στη συνέχεια 30% N, εμφάνισαν κατά ΜΟ συνολικά μεγαλύτερο συνολικό αριθμό καρπών συγκριτικά με τις επεμβάσεις, με 100% N και με 60-0% N (Γράφημα\_5).



Πίνακας\_12: Συνολικό αριθμός καρπών συναρτήσει των διαφορετικών αζωτοβακτηρίων *Bradyrhizobium spp.* και *Ensifer spp* και του συνδυασμού τους

<b>Rhizobia strains</b>	<b>Total pod Number</b>
Bradyrhizobium sp. VULI1.1	50,83
Ensifer sp. VUKA2	51,77
Bradyrhizobium sp. VULI1.1 and Ensifer sp. VUKA2	<b>46,70</b>

Γράφημα\_6: Συνολικό αριθμός καρπών συναρτήσει των διαφορετικών αζωτοβακτηρίων *Bradyrhizobium spp.* και *Ensifer spp* και του συνδυασμού τους



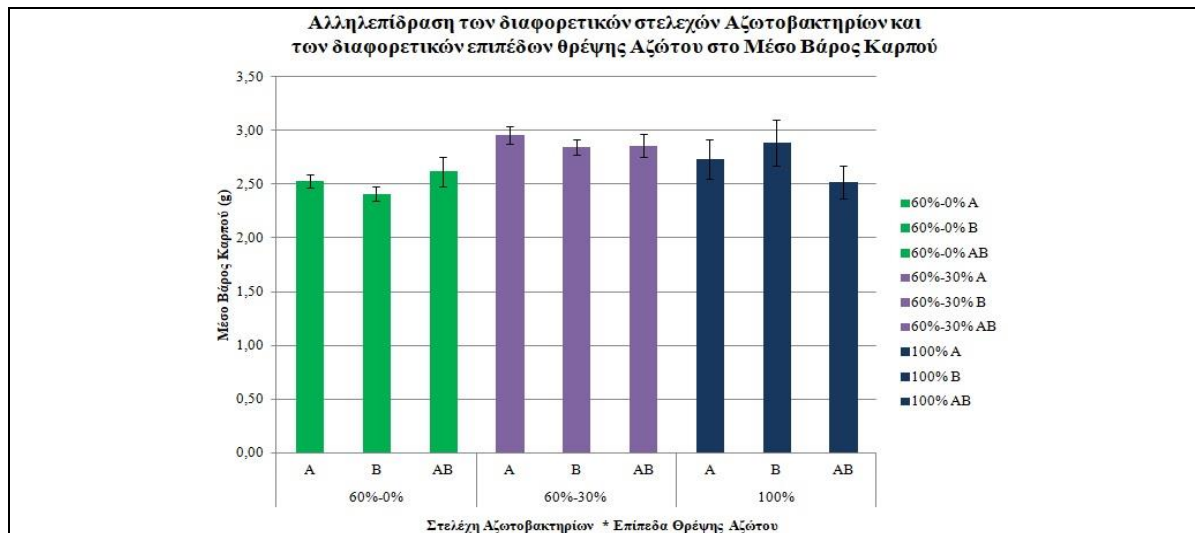
Αντίστοιχα με τους ΜΟ του συνολικού βάρους των καρπών, έτσι και οι ΜΟ συνολικού αριθμού καρπών όπως παρατηρούμε κι από το Γράφημα\_6, δεν εμφανίζουν στατιστικά σημαντική διαφορά, όσον αφορά την επίδραση των βακτηρίων *Bradyrhizobium spp.* και *Ensifer spp*, ενώ κι εδώ ο συνδυασμός των 2 αζωτοβακτηρίων στα φυτά, έδωσε μικρότερο κατά ΜΟ συνολικό βάρος καρπών.

### 6.1.3 ΜΕΣΟ ΒΑΡΟΣ ΚΑΡΠΙΟΥ

Πίνακας\_13: Αλληλεπίδραση των διαφορετικών στελεχών Αζωτοβακτηρίων και των διαφορετικών επιπέδων θρέψης Αζώτου στο Μέσο Βάρος Καρπών

<b>Nitrogen rate</b>	<b>Rhizobia strains</b>	<b>Mean pod weight</b>
<b>60%-0%</b>	A	2,53
	B	2,41
	AB	2,62
<b>60%-30%</b>	A	<b>2,95</b>
	B	<b>2,84</b>
	AB	<b>2,86</b>
<b>100%</b>	A	2,73
	B	2,89
	AB	2,51

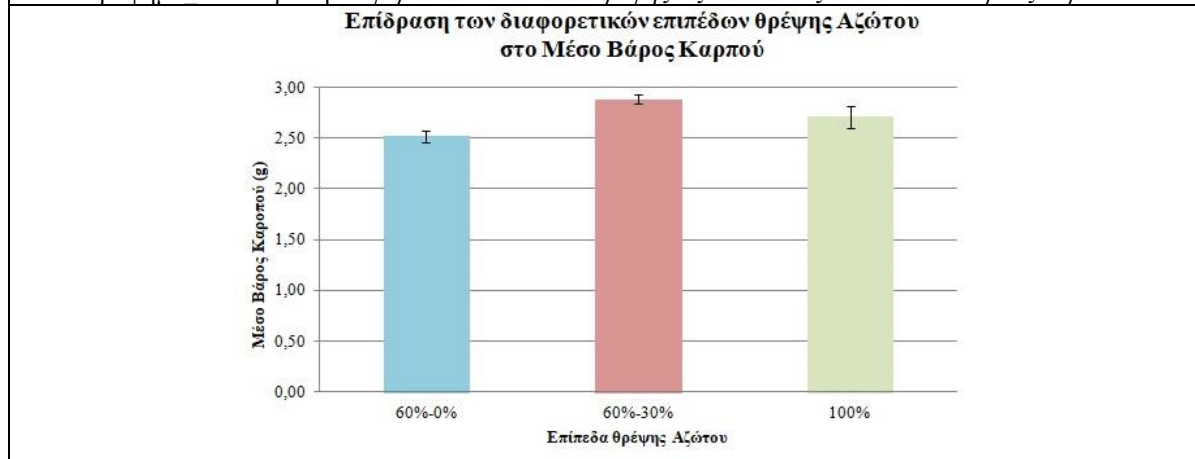
Γράφημα\_7: Αλληλεπίδραση των διαφορετικών στελεχών Αζωτοβακτηρίων και των διαφορετικών επιπέδων θρέψης Αζώτου στο Μέσο Βάρος Καρπών



Πίνακας 14: Επίδραση διαφορετικών επιπέδων θρέψης Αζώτου στους ΜΟ Μέσου Βάρους καρπού

Nitrogen rate	Mean pod weight
60%-0%	2,52
60%-30%	<b>2,89</b>
100%	2,71

Γράφημα 8: Επίδραση διαφορετικών επιπέδων θρέψης Αζώτου στους ΜΟ Μέσου Βάρους καρπού

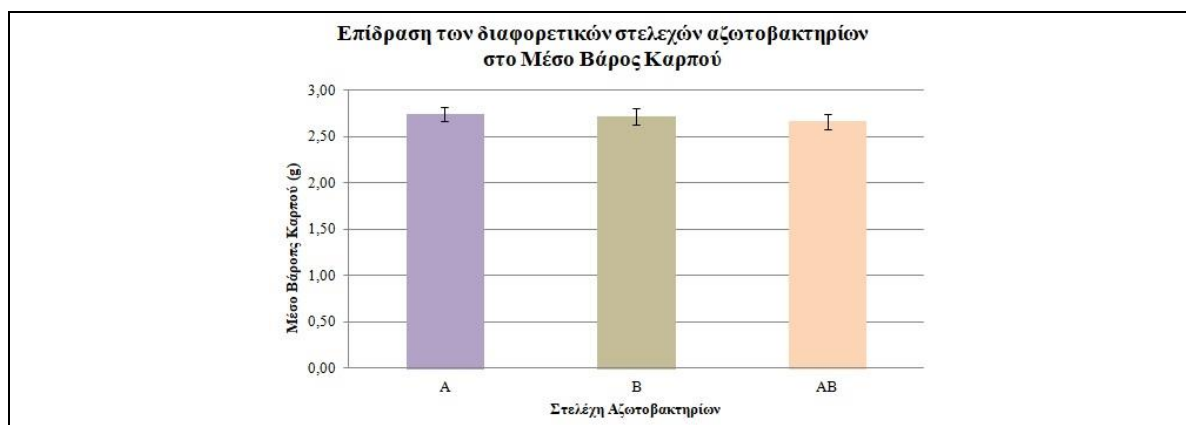


Στο γράφημα\_7 φαίνονται οι μέσοι όροι βάρη καρπών συναρτήσει των διαφορετικών αζωτοβακτηρίων, καθώς και του συνδυασμού τους, στα διαφορετικά επίπεδα θρέψης N. Από τον πίνακα\_14 και το αντίστοιχο γράφημα\_8, παρατηρείται ότι τα φυτά βίγνας, που έλαβαν στην αρχή 60% N και στη συνέχεια 30% N, εμφάνισαν συνολικά μεγαλύτερο κατά ΜΟ, μεγαλύτερο βάρος καρπών συγκριτικά με τις επεμβάσεις, με 100% N και με 60-0% N.

Πίνακας 15: Επίδραση αζωτοβακτηρίων και του συνδυασμού τους στους ΜΟ Μέσου Βάρους καρπού

Rhizobia strains	Mean pod weight
A	2,71
B	2,76
AB	2,77

Γράφημα 9: Επίδραση αζωτοβακτηρίων και του συνδυασμού τους στους ΜΟ Μέσου Βάρους καρπού



Όσον αφορά την επίδραση των βακτηρίων παρατηρούμε ότι φυτά με το στέλεχος *Ensifer spp*, έδωσε μεγαλύτερο κατά ΜΟ συνολικό βάρος καρπών από τα φυτά με το στέλεχος *Bradyrhizobium spp*.

Πίνακας: Συγκριτικός πίνακας επιδράσεων N και αζωτοβακτηρίων του συνολικού βάρους καρπών, του συνολικού αριθμού καρπών και του μέσου βάρους καρπών

ΕΠΙΠΕΔΟ N	ΑΖΩΤΟΒΑΚΤΗΡΙΑ	ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΚΑΡΠΩΝ (g)	ΣΥΝΟΛΙΚΟΣ ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΑΡΠΩΝ	ΜΕΣΟ ΒΑΡΟΣ ΚΑΡΠΟΥ(g)
100% N		114,60 b	41,49 a	2,71 ab
60% - 30% N		<b>185,13 a</b>	<b>64,34 a</b>	<b>2,89 a</b>
60% - 0% N		110,74 b	43,48 b	2,52 b
	Bradyrhizobium spp	126,42	46,70	2,71
	Ensifer spp	<b>140,45</b>	<b>51,77</b>	<b>2,76</b>
	Bradyrhizobium spp + Ensifer spp	143,60	50,83	2,77
<b>ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΔΙΑΦΟΡΑ</b>				
<b>ΕΠΙΠΕΔΟ N</b>		***	***	***
<b>ΑΖΩΤΟΔΕΣΜΕΥΤΙΚΑ ΣΤΕΛΕΧΗ</b>		*	*	*
<b>ΕΠΙΠΕΔΟ N &amp; ΑΖΩΤΟΔΕΣΜΕΥΤΙΚΑ ΣΤΕΛΕΧΗ</b>		NS	NS	NS

Το μέσο νωπό βάρος καρπού ισούται με το λόγο συνολικού βάρους όλων των καρπών ανά φυτό, προς τον αριθμό των καρπών ανά φυτό για κάθε μεταχείριση.

Από τον πίνακα\_ 16, παρατηρείται ότι σε επίπεδο θρέψης 60-30% N, οι καρποί των φυτών βίγνας είχαν μεγαλύτερο συνολικό βάρος, μεγαλύτερο συνολικό αριθμό καρπών καθώς και μεγαλύτερο μέσο βάρος καρπού. Παράλληλα, το ίδιο θετική σημειώνεται η επίδραση του αζωτοβακτηρίου Ensifer spp συγκριτικά με φυτά με το στέλεχος *Bradyrhizobium spp*.

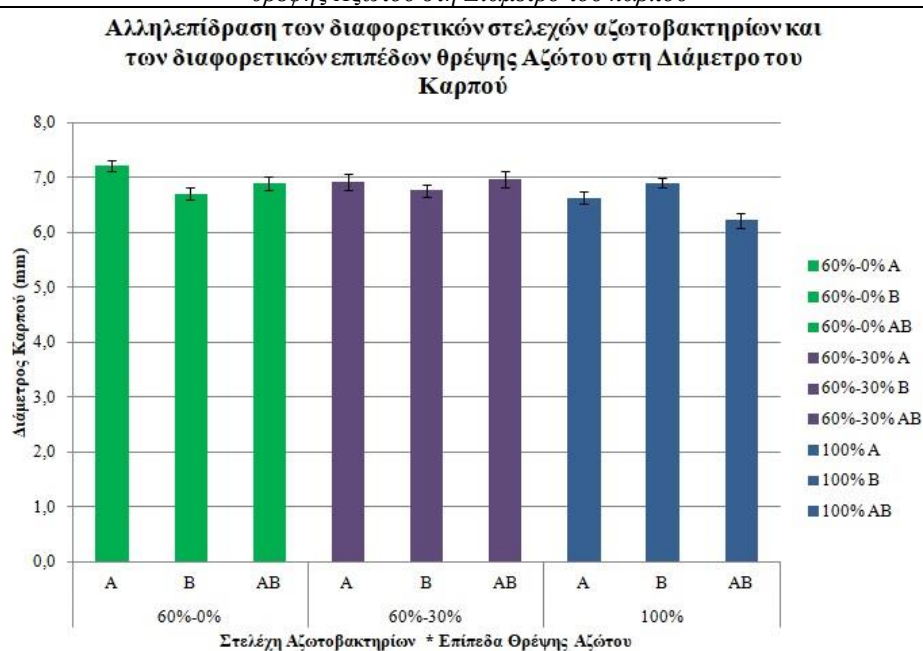
## 6.1.4 ΑΓΡΟΝΟΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΡΠΟΥ

### 6.1.4.1 ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΚΑΡΠΟΥ

Πίνακας\_ 17: Αλληλεπίδραση των διαφορετικών στελεχών Αζωτοβακτηρίων και των διαφορετικών επιπέδων θρέψης Αζώτου στη Διάμετρο του καρπού

Nutrient	Rhizobia	Pod diameter (mm)
60%-0%	A	7,223333
	B	6,704556
	AB	6,895556
60%-30%	A	6,913736
	B	6,758370
	AB	6,967391
100%	A	6,622556
	B	6,904022
	AB	6,213889

Γράφημα\_10: Αλληλεπίδραση των διαφορετικών στελεχών Αζωτοβακτηρίων και των διαφορετικών επιπέδων θρέψης Αζώτου στη Διάμετρο του καρπού

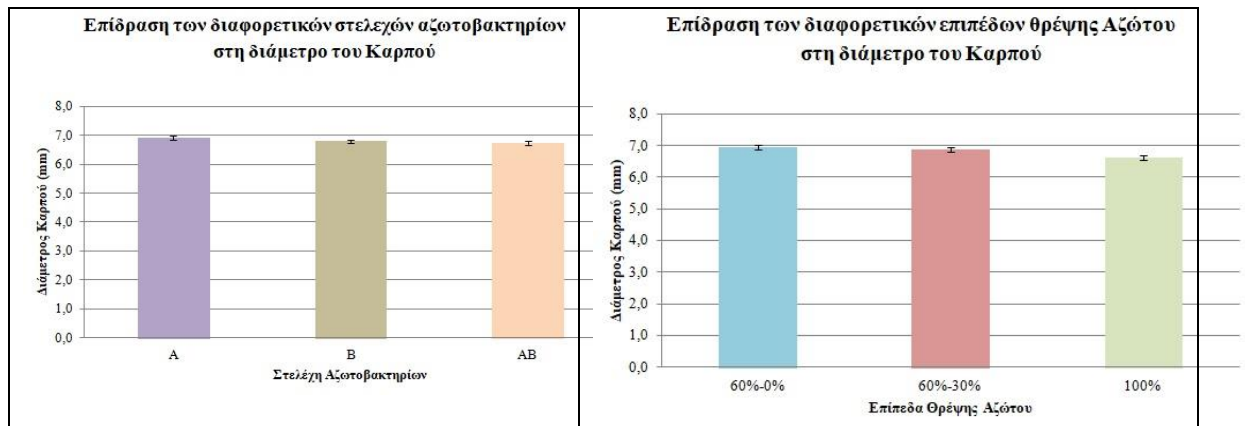


Πίνακας\_18: Αριστερά: πίνακας επίδρασης αζωτοβακτηρίων στη διάμετρο του καρπού – Δεξιά: πίνακας επίδρασης διαφορετικών επιπέδων N στη διάμετρο του καρπού

Rhizobia	Pod diameter
A	6,919852
B	6,789599
AB	6,728346

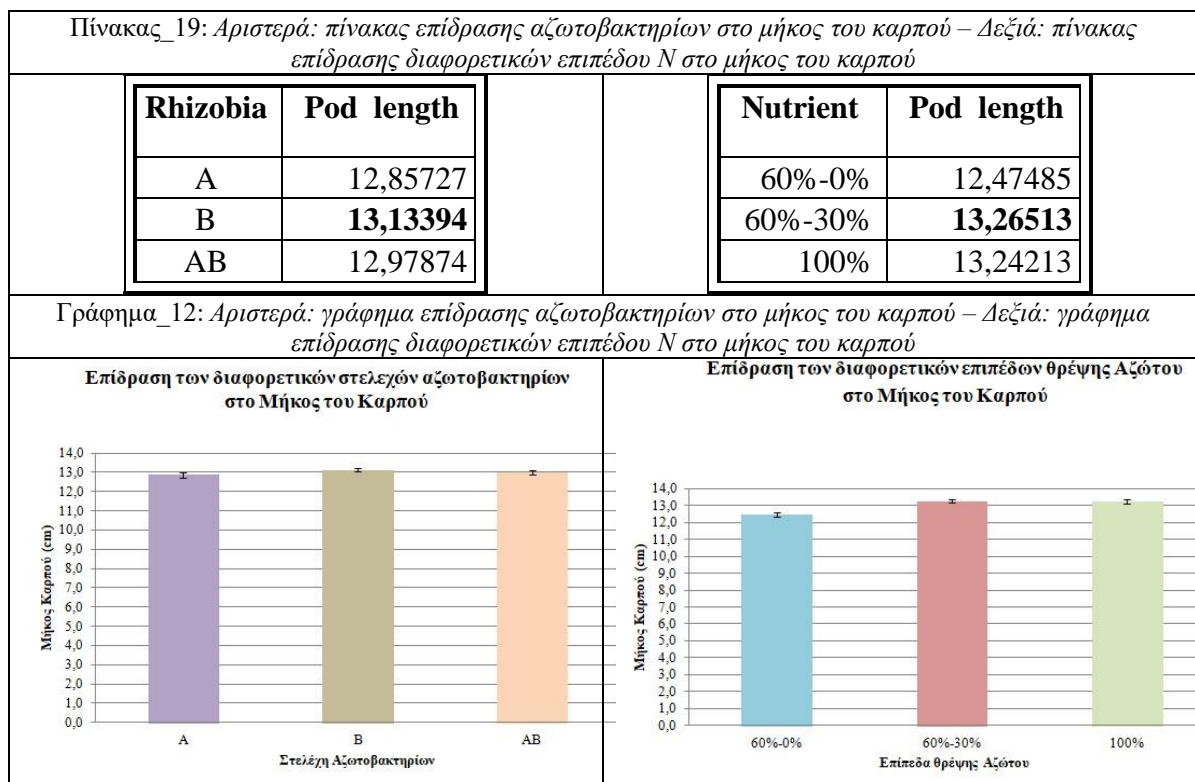
Nutrient	Pod diameter
60%-0%	6,941148
60%-30%	6,879709
100%	6,608661

Γράφημα\_11: Αριστερά: γράφημα επίδρασης αζωτοβακτηρίων στη διάμετρο του καρπού – Δεξιά: γράφημα επίδρασης διαφορετικών επιπέδων N στη διάμετρο του καρπού



Όπως φαίνεται κι από τους πίνακες 17, 18 καθώς και από τα γραφήματα 11 και 12, δεν παρουσιάζεται στατιστικά σημαντική διαφορά ούτε στην επίδραση των αζωτοβακτηρίων και του συνδυασμού τους, ούτε στην επίδραση των διαφορετικών επιπέδων θρέψης με άζωτο. Ως ένα θετικό πρόσημο εμφανίζεται στα γραφήματα η επίδραση του αζωτοβακτηρίου *Bradyrhizobium spp* και η θρέψη σε επίπεδο αζώτου 60-0%.

#### 6.1.4.2 ΜΗΚΟΣ ΚΑΡΠΟΥ



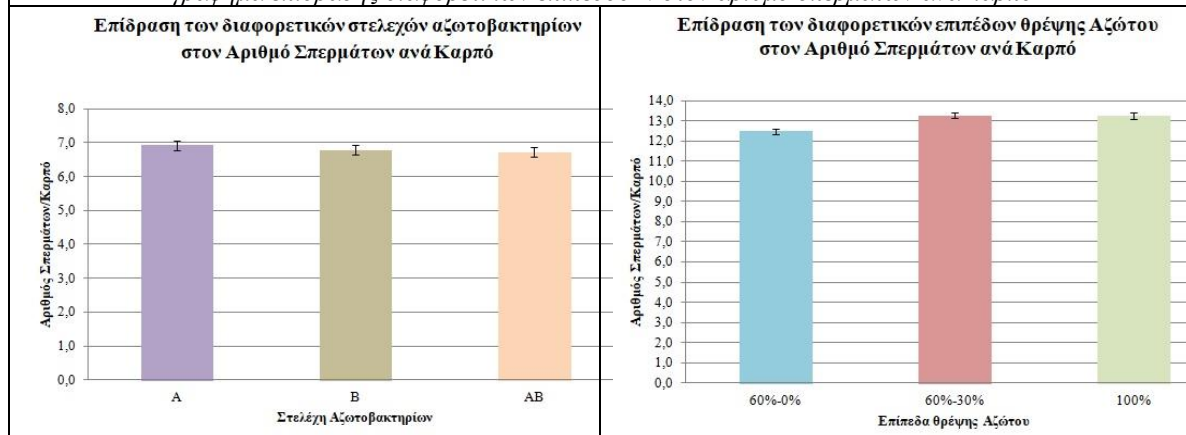
Από τον πίνακα\_19 και το αντίστοιχο γράφημα\_12, όσον αφορά την επίδραση των βακτηρίων παρατηρούμε ότι στελέχη αζωτοβακτηρίων *Ensifer spp*, έδωσε μεγαλύτερο μήκος καρπού στα φυτά., ενώ παράλληλα φυτά βίγνας, που έλαβαν στην αρχή 60% N και στη συνέχεια 30% N, εμφάνισαν συνολικά μεγαλύτερο κατά ΜΟ, μήκος καρπού συγκριτικά με τις επεμβάσεις, με 100% N και με 60-0% N.

### 6.1.4.3 ΑΡΙΘΜΟΣ ΣΠΕΡΜΑΤΩΝ ΑΝΑ ΚΑΡΠΟ

Πίνακας\_20: Αριστερά πίνακας επίδρασης αζωτοβακτηρίων στον αριθμό σπερμάτων ανά καρπό – Δεξιά: πίνακας επίδρασης διαφορετικών επιπέδων N στον αριθμό σπερμάτων ανά καρπό

Rhizobia	No of seeds per pod	Nutrient	No of seeds per pod
A	6,919852	60%-0%	12,47485
B	6,789599	60%-30%	13,26513
AB	6,728346	100%	13,24213

Γράφημα\_13: Αριστερά: γράφημα επίδρασης αζωτοβακτηρίων στον αριθμό σπερμάτων ανά καρπό – Δεξιά: γράφημα επίδρασης διαφορετικών επιπέδων N στον αριθμό σπερμάτων ανά καρπό



Από τον πίνακα\_20 και το αντίστοιχο γράφημα\_13, όσον αφορά την επίδραση των βακτηρίων παρατηρούμε ότι στελέχη αζωτοβακτηρίων *Bradyrhizobium spp*, έδωσε μεγαλύτερο αριθμό σπερμάτων στα φυτά., ενώ ο μεγαλύτερος αριθμός σπερμάτων ανά καρπό καταγράφηκε σε θρέψη με N 60-30%.

### 6.2 ΦΥΜΑΤΙΑ

Ο αριθμός αλλά και το μέγεθος των ώριμων σχηματισμένων φυματίων στις ρίζες των φυτών αποτελεί σημαντική παράμετρο, καθώς επηρεάζει άμεσα το δυναμικό της αζωτοδέσμευσης.

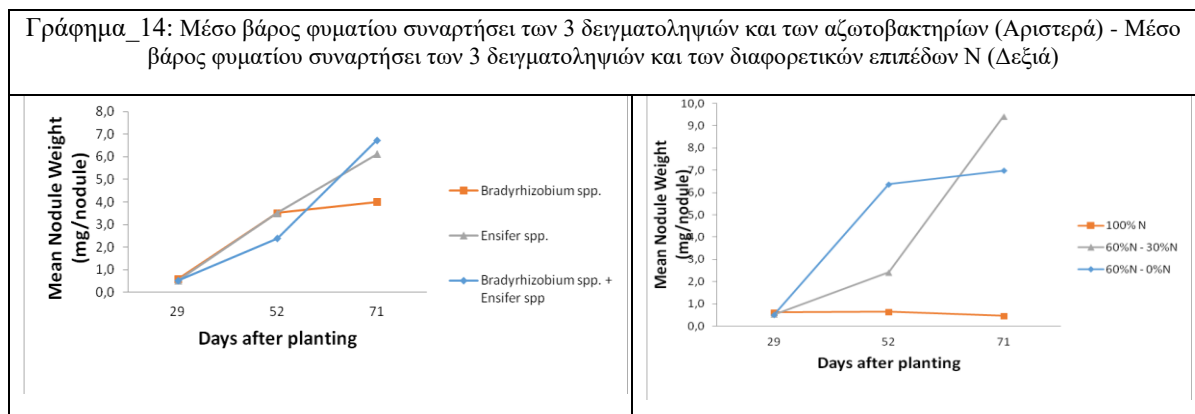
Στον Πίνακα\_21, παρατίθενται τα αποτελέσματα που αφορούν στο μέσο βάρος κάθε φυματίου, τον αριθμό φυματίων ανά βάρος νωπής ρίζας καθώς και το βάρος των φυματίων ανά βάρος νωπής ρίζας στην συγκριτική μελέτη της αλληλεπίδρασης των διαφορετικών αζωτοδεσμευτικών βακτηρίων και σε διαφορετικά επίπεδα θρέψης με άζωτο.

Πίνακας\_21: Συγκριτικός πίνακας μέσου βάρους φυματίου, αριθμού φυματίων ανά βάρος νωπής ρίζας και μέσου βάρους των φυματίων ανά βάρος νωπής ρίζας συναρτήσει N και αζωτοβακτηρίων

ΕΠΙΠΕΔΟ N	ΑΖΩΤΟΒΑΚΤΗΡΙΑ	ΒΑΡΟΣ ΦΥΜΑΤΙΟΥ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΦΥΜΑΤΙΩΝ / ΝΩΠΟ ΒΑΡΟΣ ΡΙΖΑΣ	ΒΑΡΟΣ ΦΥΜΑΤΙΩΝ / ΝΩΠΟ ΒΑΡΟΣ ΡΙΖΑΣ
100% N		0,93c	91,2a	84,37c
60% - 30% N		2,7 b	67,93 b	183,25 b
60% - 0% N		5,26 a	46,97 c	247,25 a

	Bradyrhizobium spp	2,63 b	56,79b	149,38 b
	<b>Ensifer spp</b>	2,99 ab	<b>78,10 a</b>	<b>233,62 a</b>
	<b>Bradyrhizobium spp + Ensifer spp</b>	3,45 a	67,47 ab	232,67 a
<b>ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΔΙΑΦΟΡΑ</b>				
	<b>ΕΠΙΠΕΔΟ N</b>	***	***	***
	<b>ΑΖΩΤΟΔΕΣΜΕΥΤΙΚΑ ΣΤΕΛΕΧΗ</b>	*	*	*
	<b>ΕΠΙΠΕΔΟ N &amp; ΑΖΩΤΟΔΕΣΜΕΥΤΙΚΑ ΣΤΕΛΕΧΗ</b>	NS	NS	NS

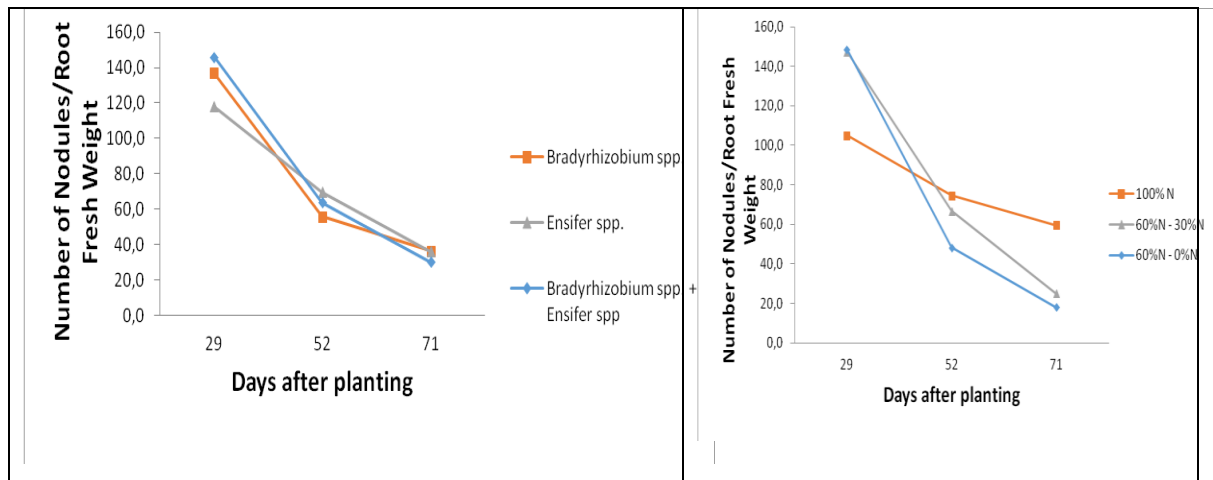
Από τον πίνακα\_21 παρατηρούμε τη θετική επίδραση του αζωτοβακτηρίου Ensifer spp., είτε όταν εφαρμόστηκε μόνο του είτε σε συνδυασμό με το αζωτοβακτήριο Bradyrhizobium spp, στο βάρος των φυματίων. Παρόμοια αποτελέσματα παρατηρούμε κι όσον αφορά τον αριθμό των φυματίων ανά νωπό βάρος ρίζας, καθώς και στο βάρος φυματίων ανά νωπό βάρος ρίζας, γεγονός που αποδεικνύει την αποτελεσματικότητα της συμβίωσης του αζωτοβακτηρίου Ensifer spp με το αμπελοφάσουλο.



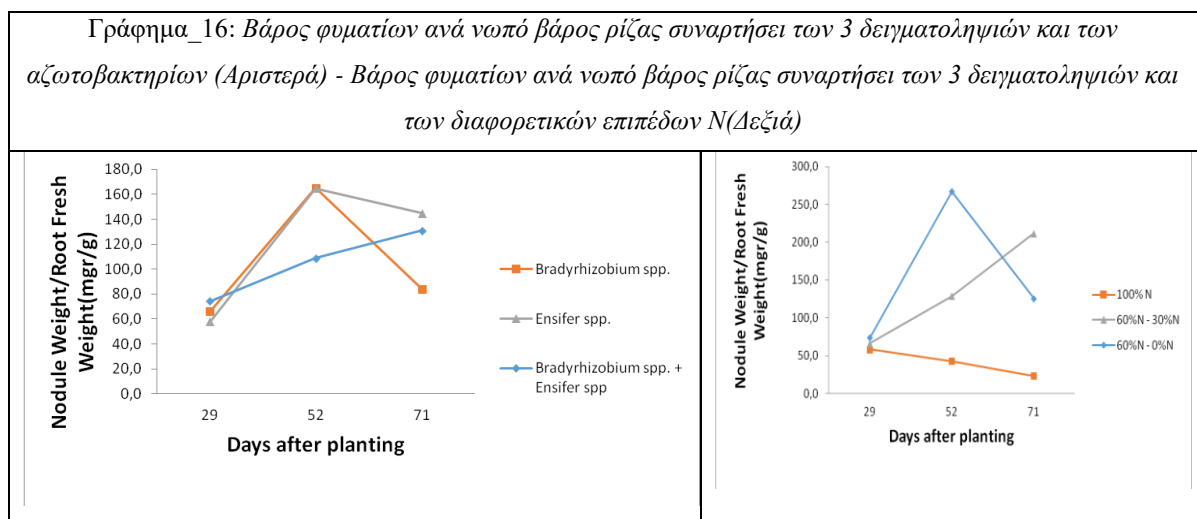
Από το γράφημα\_14, παρατηρούμε ότι το αζωτοβακτήριο Ensifer, παρουσιάζει το **μεγαλύτερο μέσο βάρος φυματίων συγκριτικά με το Bradyrhizobium** και ότι κατά τη **θρέψη με άζωτο 60-30%** το μέσο βάρος φυματίων ήταν αισθητά μεγαλύτερο από τις υπόλοιπες επεμβάσεις.

Γράφημα\_15: Αριθμός φυματίων ανά νωπό βάρος ρίζας συναρτήσει των 3 δειγματοληψιών και των αζωτοβακτηρίων (Αριστερά) - Αριθμός φυματίων ανά νωπό βάρος ρίζας συναρτήσει των 3 δειγματοληψιών και των διαφορετικών επιπέδων N (Δεξιά)





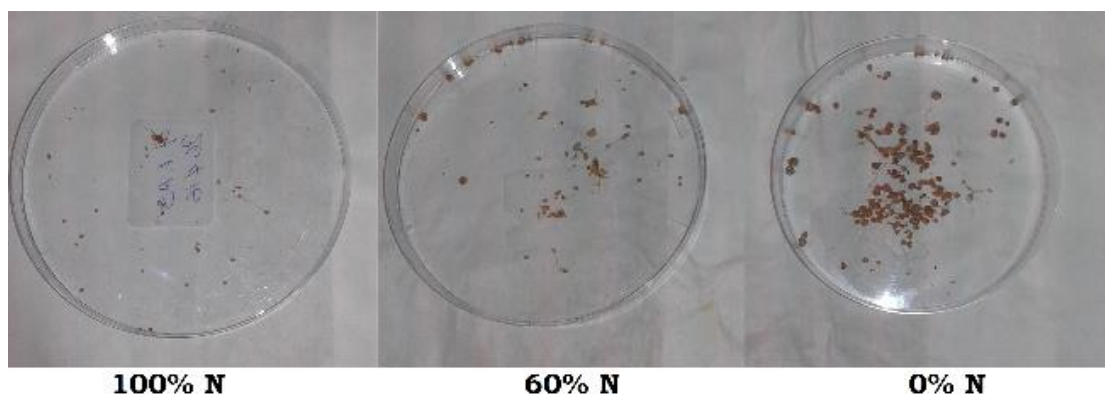
Από το γράφημα\_15, παρατηρούμε ότι το αζωτοβακτήριο **Bradyrhizobium**, παρουσιάζει το **μεγαλύτερο αριθμό φυματίων ανά νωπό βάρος ρίζας συγκριτικά με το Ensifer και ότι κατά τη θρέψη με άζωτο 60-0% αριθμό φυματίων ανά νωπό βάρος ρίζας ήταν αισθητά μεγαλύτερο από τις υπόλοιπες επεμβάσεις.**



Από το γράφημα\_16, παρατηρούμε ότι το αζωτοβακτήριο Ensifer, παρουσιάζει το **μεγαλύτερο βάρος φυματίων ανά νωπό βάρος ρίζας συγκριτικά με το Bradyrhizobium και ότι κατά τη θρέψη με άζωτο 60-0% μεγαλύτερο βάρος φυματίων ανά νωπό βάρος ρίζας ήταν αισθητά μεγαλύτερο από τις υπόλοιπες επεμβάσεις.**

Εικόνα\_ : Σχηματισμός φυματίων ανάλογα τα διαφορετικά επίπεδα θρέψης





**100% N**

**60% N**

**0% N**

### 6.3 ΘΡΕΠΤΙΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΥΠΕΡΓΕΙΟΥ ΜΕΡΟΥΣ

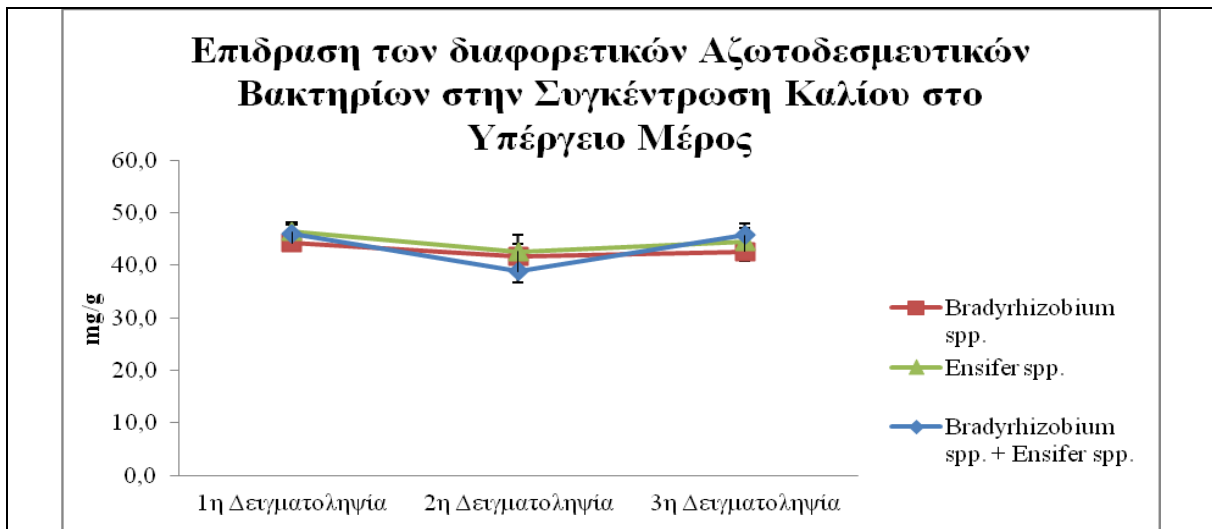
Οι συγκεντρώσεις των θρεπτικών στοιχείων του υπέργειου τμήματος των φυτών μετρήθηκαν τρεις φορές: στις 29, στις 52 και στις 71 ημέρες μετά τη σπορά τους. Στα παρακάτω διαγράμματα παρουσιάζονται οι μετρήσεις των μέσων όρων των συγκεντρώσεων των θρεπτικών στοιχείων που μετρήθηκαν κατά τη διάρκεια της καλλιέργειας συναρτήσει του χρόνου τόσο ανάλογα με την επίδραση των διαφορετικών στελεχών αζωτοβακτηρίων που χρησιμοποιήθηκαν στο πείραμα όσο και ανάλογα των διαφορετικών επιπέδων της θρέψης αζώτου που εφαρμόστηκαν στην καλλιέργεια.

ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΘΡΕΠΤΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ							
ΕΠΙΠΕΔΟ N	ΑΖΩΤΟΒΑΚΤΗΡΙΑ	Ca	K	Mg	Mn	Zn	Fe
		mg g <sup>-1</sup> DW			mg kg <sup>-1</sup> DW		
100% N		35,75a	45,56a	5,58a	156,20a	80,31b	162,62b
60% - 30% N		30,47ab	41,56ab	4,11b	102,71b	101,22a	169,82ab
60% - 0% N		26,23b	36,22b	3,88b	119,22c	81,60b	188,4a
	<b>Bradyrhizobium spp</b>	32,27	41,78	4,7	130,64	84,36	172,27
	<b>Ensifer spp</b>	28,45	38,89	4,31	121,56	85,42	176,82
	<b>Bradyrhizobium spp + Ensifer spp</b>	31,73	42,67	4,56	125,93	93,36	171,76
	<b>ΕΠΙΠΕΔΟ N</b>	*	*	***	***	***	*
	<b>ΑΖΩΤΟΔΕΣΜΕΥΤΙΚΑ ΣΤΕΛΕΧΗ</b>	NS	NS	NS	NS	NS	NS
	<b>ΕΠΙΠΕΔΟ N &amp; ΑΖΩΤΟΔΕΣΜΕΥΤΙΚΑ ΣΤΕΛΕΧΗ</b>	NS	NS	NS	NS	NS	NS

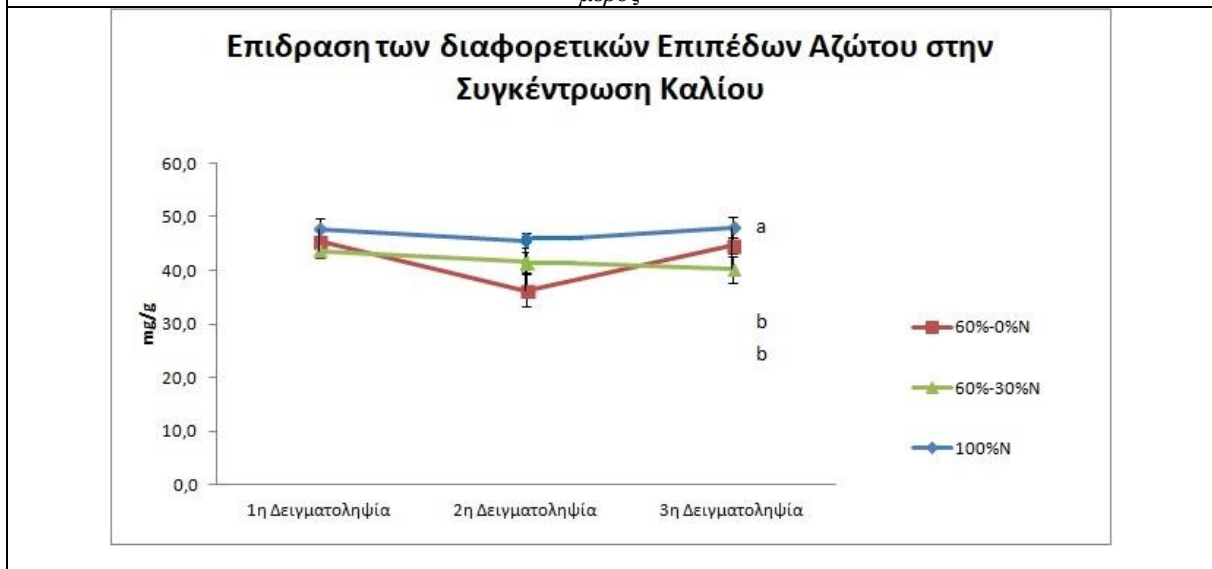
Στα παρακάτω γραφήματα παρουσιάζονται οι μέσοι όροι συγκέντρωσης των διαφορετικών θρεπτικών συστατικών που μετρήθηκαν στο υπέργειο μέρος των φυτών κατά τις τρεις δειγματοληψίες συναρτήσει των 3 επεμβάσεων με διαφορετικά στελέχη αζωτοδεσμευτικών βακτηρίων, των *Bradyrhizobium spp.*, *Ensifer spp.* καθώς και ένα μείγμα των ανωτέρω δυο. Βασική γενική παρατήρηση αποτελεί το γεγονός ότι για κανένα από τα παρακάτω θρεπτικά στοιχεία που υπολογίστηκαν (K, Mg, Mn, Zn, Fe) δεν εμφανίστηκε σημαντική στατιστική διαφορά μεταξύ των επιδράσεων των διαφορετικών ριζόβιων στελεχών.

#### 6.3.1 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΚΑΛΙΟΥ ΣΤΟ ΥΠΕΡΕΙΟ ΜΕΡΟΣ

**Γράφημα: 17:** Γράφημα Επίδρασης Αζωτοδεσμευτικών βακτηρίων στη συγκέντρωση καλίου στο υπέργειο μέρος



Γράφημα: \_18: Γράφημα Επίδρασης διαφορετικών επιπέδων αζώτου στη συγκέντρωση καλίου στο υπέργειο μέρος



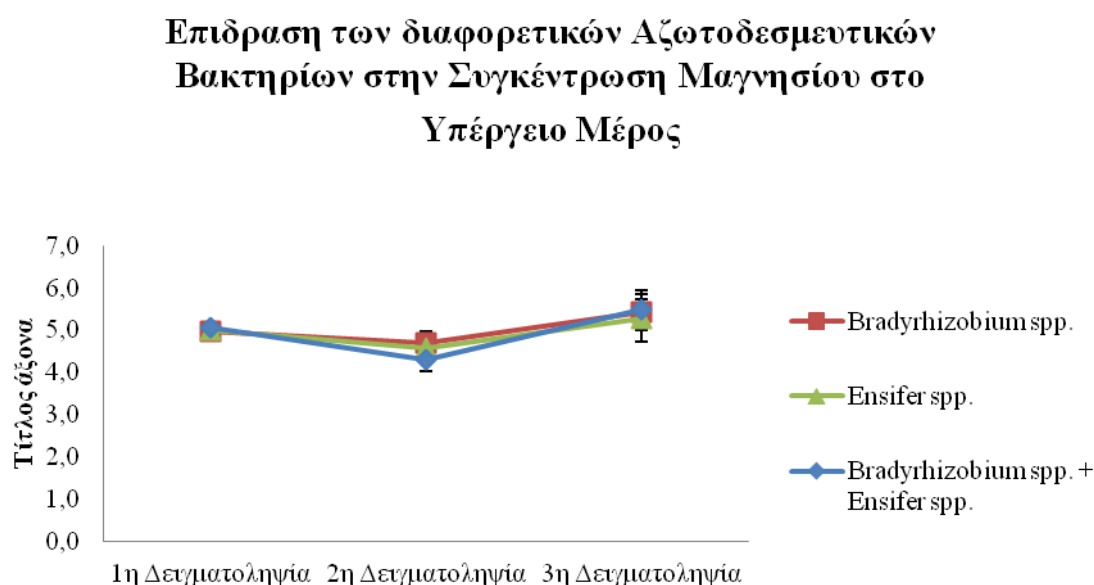
Στο γράφημα\_17, παρουσιάζονται οι μέσοι όροι συγκέντρωσης Καλίου του υπέργειου τμήματος των φυτών κατά τις τρεις δειγματοληψίες που έγιναν κατά την καλλιεργητική περίοδο συναρτήσει των 3 διαφορετικών ριζόβιων αζωτοδεσμευτικών στελεχών που χρησιμοποιήθηκαν. Παρατηρείται ότι κατά την δεύτερη δειγματοληψία που συνέπιπτε με την περίοδο ανθοφορίας των φυτών, οι συγκεντρώσεις Καλίου εμφανίζονται ελαφρώς μικρότερες από τις άλλες δειγματοληψίες και για τις τρεις διαφορετικές επεμβάσεις, με μεγαλύτερη συγκριτικά μείωση στη συγκέντρωση Καλίου στα φυτά που είχε εφαρμοστεί το μείγμα των *Bradyrhizobium spp.* και *Ensifer spp.* χωρίς παρόλα αυτά να προκύπτει κάποια στατιστικά σημαντική διαφορά με τα άλλα δύο στελέχη.

Στο γράφημα\_18 παρουσιάζονται οι μέσοι όροι συγκέντρωσης Καλίου του υπέργειου τμήματος των φυτών κατά τις τρεις δειγματοληψίες που έγιναν κατά την καλλιεργητική περίοδο συναρτήσει των 3 διαφορετικών επιπέδων στην παροχή αζώτου στις διαφορετικές επεμβάσεις. Παρατηρείται πως στα φυτά στα οποία παρεχόταν πλήρες σε άζωτο (100%N) θρεπτικό διάλυμα παρουσίαζαν, καθόλη την καλλιεργητική περίοδο, την υψηλότερη απορρόφηση Καλίου συγκριτικά με τις άλλες δύο επεμβάσεις. Κατά τη δειγματοληψία που

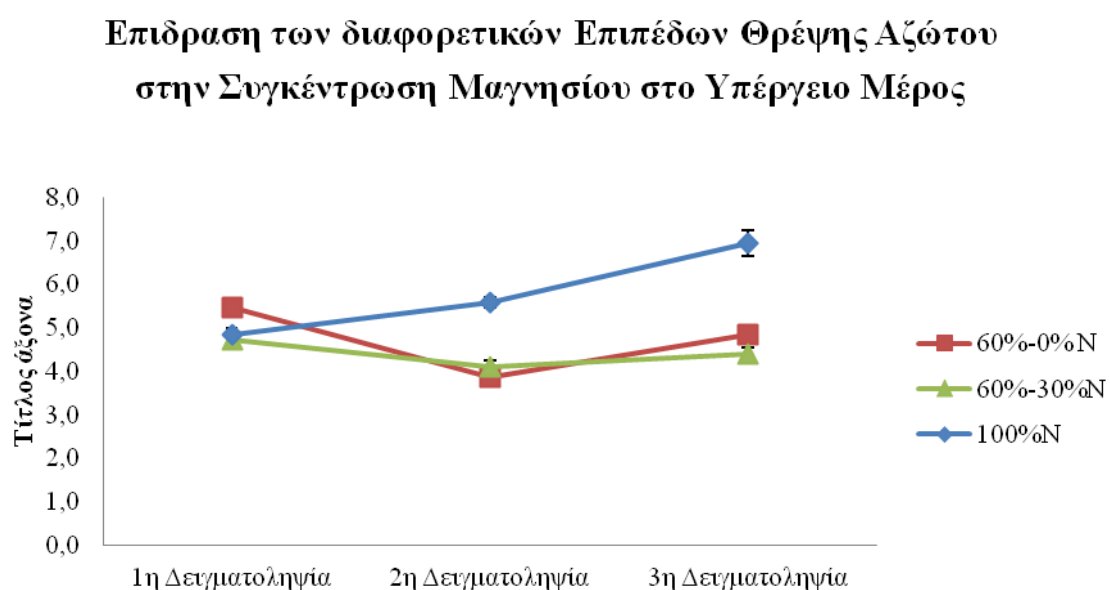
έλαβε χώρα την περίοδο της ανθοφορίας (2<sup>η</sup> δειγματοληψία) παρατηρείται στατιστικά σημαντική διαφορά και μεταξύ των άλλων δύο επεμβάσεων, καθώς η απορρόφηση Καλίου στα φυτά στα οποία παρεχόταν το 30% σε άζωτο διάλυμα είναι υψηλότερη από αυτά στα οποία παρεχόταν θρεπτικό διάλυμα χωρίς άζωτο (0%), κάτι το οποίο, ουσιαστικά, αντιστρέφεται αργότερα καθώς κατά το στάδιο της συγκομιδής, παρατηρείται αύξηση στην απορρόφηση καλίου από τα φυτά που δεν λάμβαναν άζωτο μέσω του θρεπτικού διαλύματος, ενώ αντίστοιχα η απορρόφηση των φυτών στα οποία παρεχόταν 30% μειώθηκε ελαφρώς σε σύγκριση με την 2<sup>η</sup> δειγματοληψία.

### 6.3.2 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΜΑΓΝΗΣΙΟΥ ΣΤΟ ΥΠΕΡΓΕΙΟ ΜΕΡΟΣ

Γράφημα: 19: Γράφημα Επίδρασης Αζωτοδεσμευτικών βακτηρίων στη συγκέντρωση στο υπέργειο μέρος



Γράφημα: 20: Γράφημα Επίδρασης διαφορετικών επιπέδων αζώτου στη συγκέντρωση στο υπέργειο μέρος



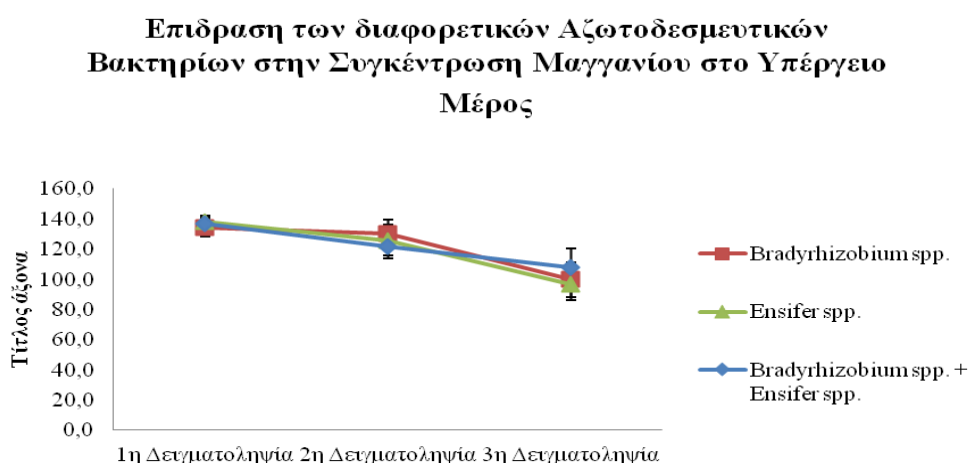
Οι μικρότερες συγκεντρώσεις Μαγνησίου παρατηρούνται κατά την δεύτερη δειγματοληψία στην περίοδο της ανθοφορίας, ενώ κατά την περίοδο της συγκομιδής των

καρπών που έλαβε χώρα η τρίτη δειγματοληψία παρατηρούνται οι – συγκριτικά – μεγαλύτερες συγκεντρώσεις του θρεπτικού στοιχείου, χωρίς παρόλα αυτά να προκύπτει κάποια στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των ριζόβιων στελεχών (Γράφημα 19).

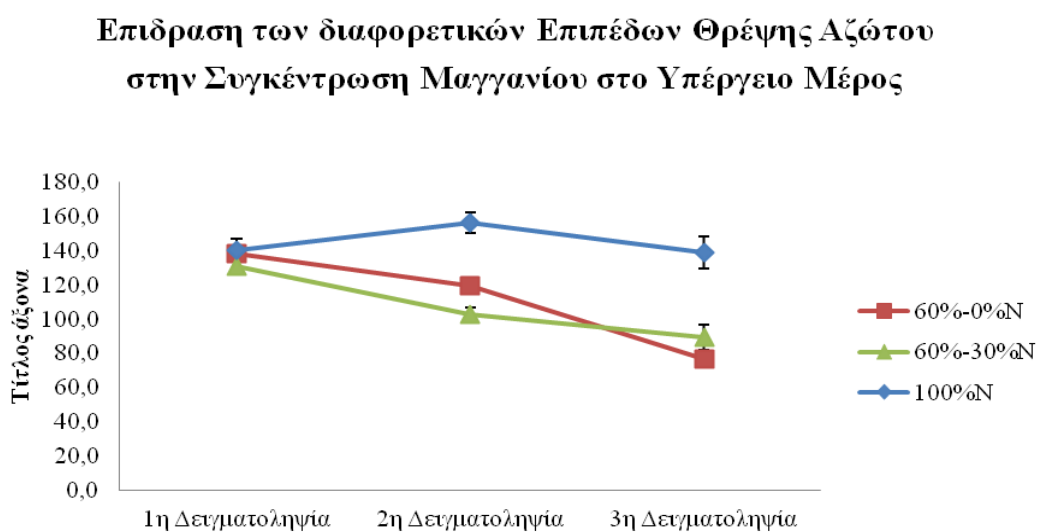
Παρατηρείται πως τα φυτά στα οποία παρεχόταν το πλήρες σε άζωτο θρεπτικό διάλυμα, κατά την διάρκεια της καλλιέργειας παρουσιάζουν σταθερά αυξητική τάση στην απορρόφηση Μαγνησίου, τα φυτά στα οποία παρεχόταν είτε μειωμένο στο 30% του αζώτου, είτε μηδενικό άζωτο, παρουσιάζουν μείωση στην απορρόφηση Μαγνησίου, με σημαντικότερη μείωση να παρουσιάζουν αυτά στα οποία μηδενίστηκε η παροχή του αζώτου. Οι μέσοι όροι συγκέντρωσης Mg για την περίπτωση των επεμβάσεων με 60%-30%N και 60%-0%N δεν παρουσιάζουν παρόλα αυτά, σημαντική στατιστική διαφορά κατά το στάδιο της άνθησης και της συγκομιδής, ενώ παρουσιάζουν σημαντική στατιστική διαφορά και για τις δυο περιπτώσεις με την επέμβαση με το 100%N (Γράφημα 20).

### 6.3.3 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΜΑΓΓΑΝΙΟΥ ΣΤΟ ΥΠΕΡΓΕΙΟ ΜΕΡΟΣ

Γράφημα: 21: Γράφημα Επίδρασης Αζωτοδεσμευτικών βακτηρίων στη συγκέντρωση στο υπέργειο μέρος



Γράφημα: 22: Γράφημα Επίδρασης διαφορετικών επιπέδων αζώτου στη συγκέντρωση στο υπέργειο μέρος



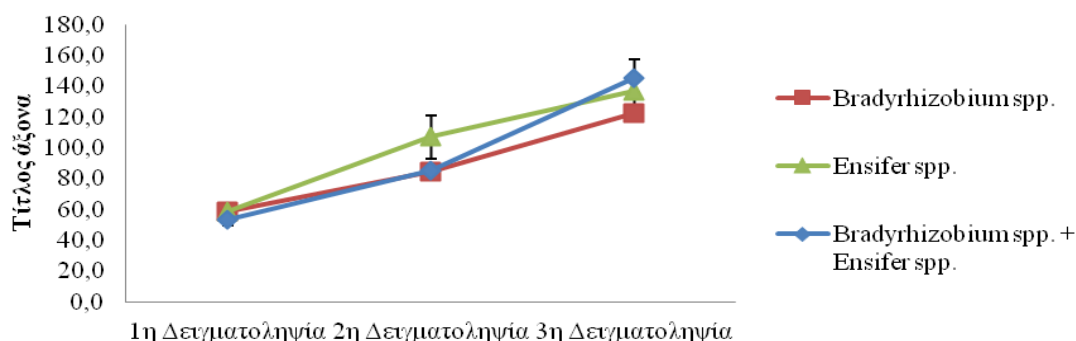
Στο Γράφημα\_21 παρουσιάζονται οι μέσοι όροι συγκέντρωσης **Μαγγανίου** του υπέργειου τμήματος των φυτών κατά τις τρεις δειγματοληψίες που έγιναν κατά την καλλιεργητική περίοδο συναρτήσει των 3 διαφορετικών ριζόβιων αζωτοδεσμευτικών στελεχών που χρησιμοποιήθηκαν. Παρατηρείται μια γενικότερη μείωση της συγκέντρωσης του Μαγγανίου από την αρχή μέχρι το τέλος της καλλιέργειας, με πιο απότομη πτώση των συγκεντρώσεων μεταξύ του σταδίου της ανθοφορίας (2η δειγματοληψία) και αυτό της συγκομιδής (3η δειγματοληψία) για τις περιπτώσεις των στελεχών *Bradyrhizobium spp.* και *Ensifer spp.* χωρίς να παρατηρείται στατιστικά σημαντική διαφορά και με την πιο «ομαλή» πορεία της συγκέντρωσης Mn στην περίπτωση επέμβασης με το μείγμα των στελεχών στο αντίστοιχο χρονικό διάστημα.

Στο Γράφημα\_22 παρουσιάζονται οι μέσοι όροι συγκέντρωσης Μαγγανίου του υπέργειου τμήματος των φυτών κατά τις τρεις δειγματοληψίες που έγιναν κατά την καλλιεργητική περίοδο συναρτήσει των 3 διαφορετικών επιπέδων στην παροχή αζώτου στις διαφορετικές επεμβάσεις. Παρατηρείται πως τα φυτά στα οποία παρεχόταν το πλήρες σε άζωτο θρεπτικό διάλυμα (100%N) παρουσιάζουν υψηλότερη στατιστικά απορρόφηση Μαγγανίου, συγκριτικά με τις άλλες δύο επεμβάσεις, καθόλη τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου. Στις επεμβάσεις μειωμένης και μηδενικής παροχής αζώτου, μετά την αλλαγή των θρεπτικών διαλυμάτων (29η μέρα), παρατηρείται μειωτική τάση, με μικρότερη απορρόφηση Mn να παρουσιάζουν τα φυτά στα οποία παρεχόταν το 30% σε άζωτο θρεπτικό διάλυμα κατά την περίοδο της ανθοφορίας, η οποία τάση συνέχισε να είναι μειωτική μέχρι και το στάδιο της συγκομιδής. Σε αυτό το στάδιο (3η δειγματοληψία) δεν παρατηρείται σημαντική στατιστική διαφορά μεταξύ των επεμβάσεων 60%-30%N και 60%-0%N.

### **6.3.4 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΨΕΥΔΑΡΓΥΡΟΥ ΣΤΟ ΥΠΕΡΕΙΟ ΜΕΡΟΣ**

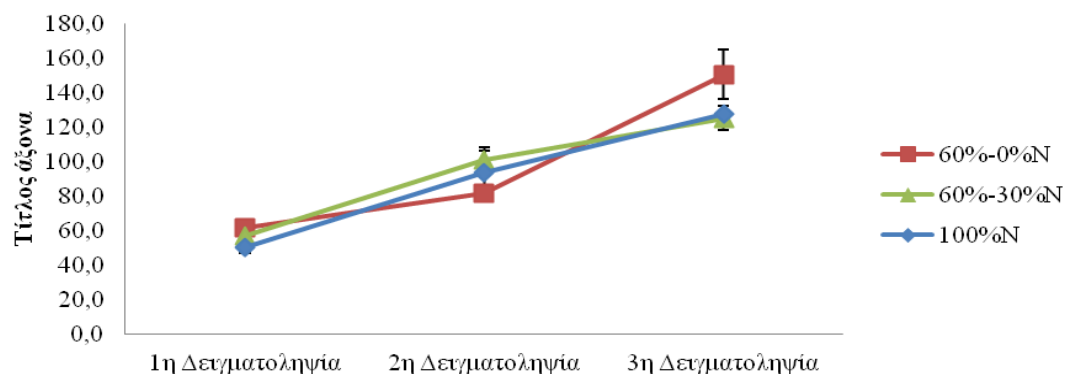
Γράφημα: 23: Γράφημα Επίδρασης Αζωτοδεσμευτικών βακτηρίων στη συγκέντρωση στο υπέργειο μέρος
--

### Επίδραση των διαφορετικών Αζωτοδεσμευτικών Βακτηριίων στην Συγκέντρωση Ψευδαργύρου στο Υπέργειο Μέρος



Γράφημα: 24: Γράφημα Επίδρασης διαφορετικών επιπέδων αζώτου στη συγκέντρωση στο υπέργειο μέρος

### Επίδραση των διαφορετικών Επιπέδων Θρέψης Αζώτου στην Συγκέντρωση Ψευδαργύρου στο Υπέργειο Μέρος

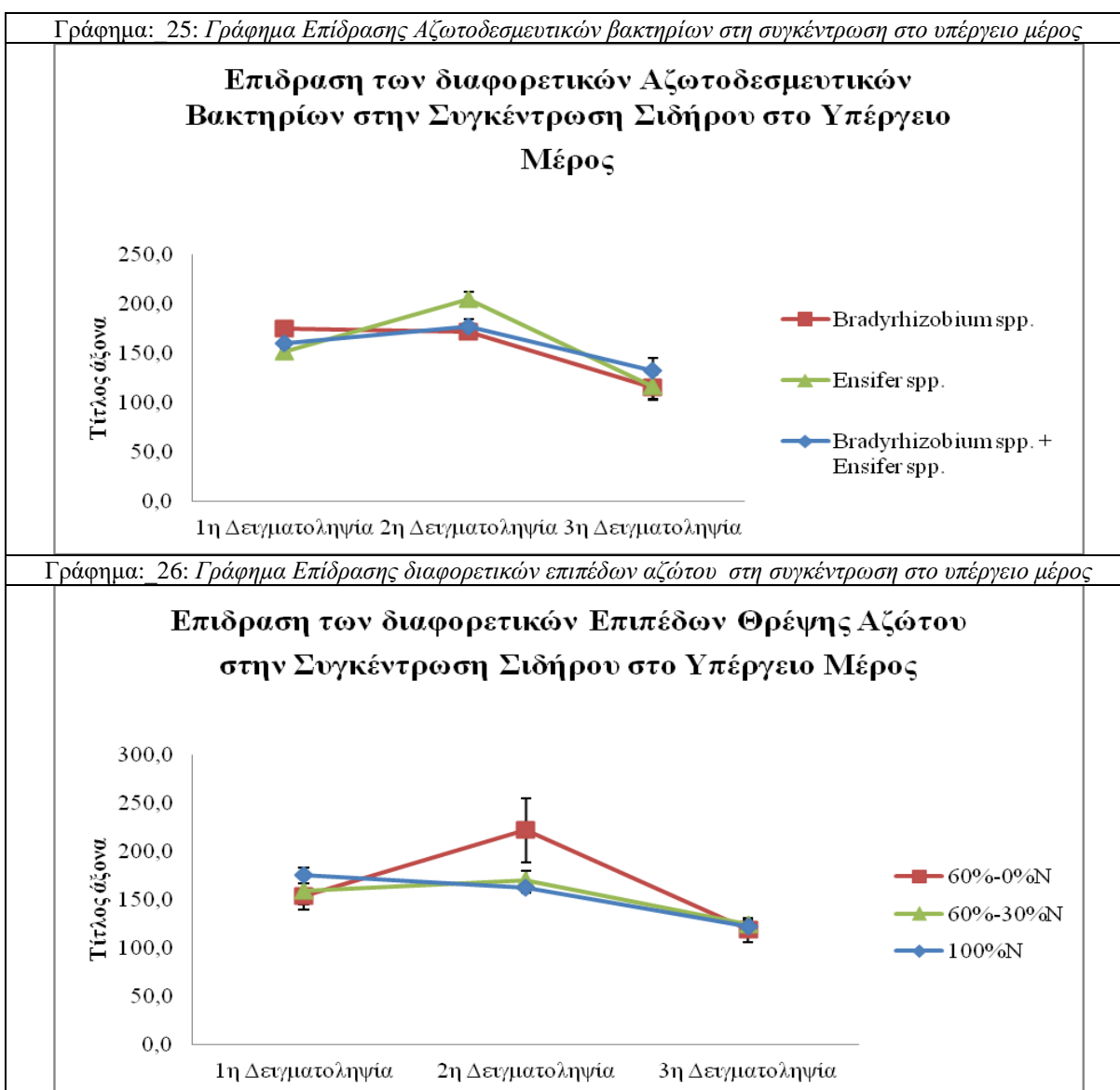


Στο Γράφημα\_23 παρουσιάζονται οι μέσοι όροι συγκέντρωσης Ψευδαργύρου του υπέργειου τμήματος των φυτών κατά τις τρεις δειγματοληψίες που έγιναν κατά την καλλιεργητική περίοδο συναρτήσει των 3 διαφορετικών ριζόβιων αζωτοδεσμευτικών στελεχών που χρησιμοποιήθηκαν. Παρατηρείται περίπου σταθερή αύξηση στην απορρόφηση Ψευδαργύρου τόσο μεταξύ της 1ης και της 2ης δειγματοληψίας, όσο και μεταξύ της 2ης και της 3ης δειγματοληψίας. Κατά την δειγματοληψία στην περίοδο της άνθισης, παρατηρείται υψηλότερη απορρόφηση του στοιχείου από τα φυτά που ήταν εμβολιασμένα με το στέλεχος Ensifer spp., ενώ κατά την δειγματοληψία στην περίοδο της συγκομιδής παρατηρείται μια ελαφρώς αυξημένη απορρόφηση από τα φυτά που είχαν εμβολιαστεί με το μείγμα των στελεχών, χωρίς παρόλα αυτά να υπάρχει σημαντικά στατιστικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων και για τις δυο δειγματοληψίες.

Στο Γράφημα\_24 παρουσιάζονται οι μέσοι όροι συγκέντρωσης Ψευδαργύρου του

υπέργειου τμήματος των φυτών κατά τις τρεις δειγματοληψίες που έγιναν κατά την καλλιεργητική περίοδο συναρτήσει των 3 διαφορετικών επιπέδων στην παροχή αζώτου στις διαφορετικές επεμβάσεις. Παρατηρείται αυξητική τάση καθ' όλη την διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου και για τις τρεις επεμβάσεις, χωρίς να υπάρχουν σημαντικές στατιστικές διαφορές μεταξύ τους. Επιπλέον, παρατηρείται πως προς το τέλος της καλλιέργειας, στο στάδιο της συγκομιδής, τα φυτά στα οποία παρέχεται μηδενικό σε άζωτο θρεπτικό διάλυμα, φαίνεται να απορροφούν μεγαλύτερες ποσότητες ψευδαργύρου, χωρίς και πάλι να υπάρχουν, όμως, σημαντικές στατιστικές διαφορές σε επίπεδο σημαντικότητας 5%.

### 6.3.5 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΣΙΔΗΡΟΥ ΣΤΟ ΥΠΕΡΓΕΙΟ ΜΕΡΟΣ



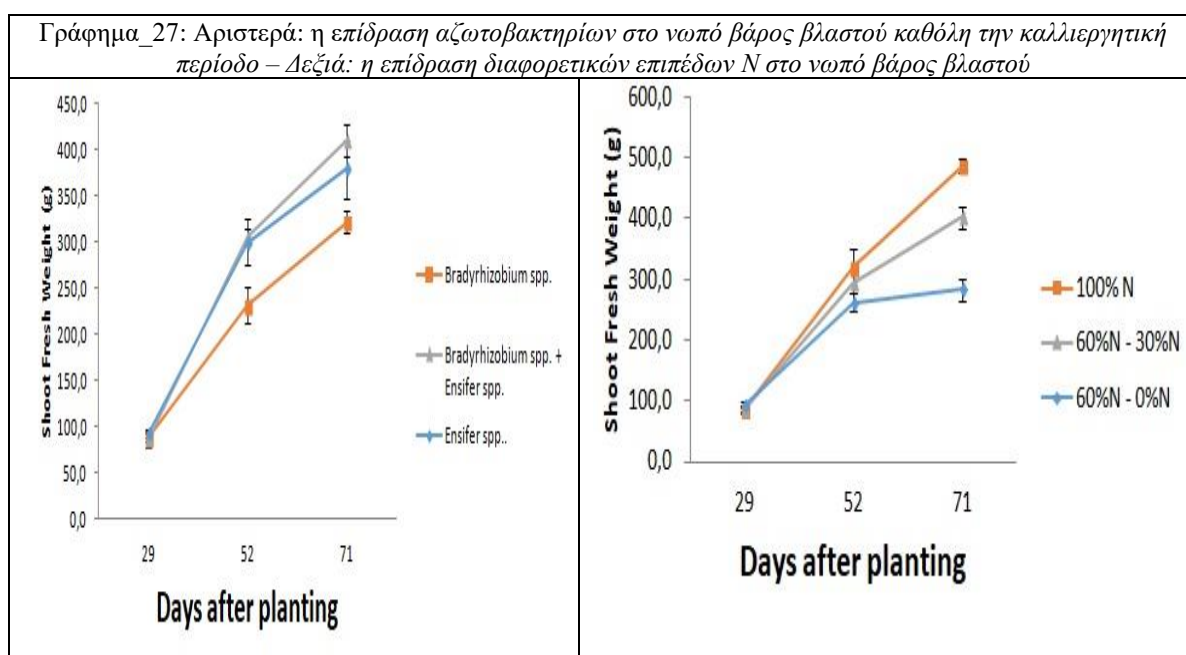
Στο Γράφημα\_25 παρουσιάζονται οι μέσοι όροι συγκέντρωσης Σιδήρου του υπέργειου τμήματος των φυτών κατά τις τρεις δειγματοληψίες που έγιναν κατά την καλλιεργητική



περίοδο συναρτήσεως των 3 διαφορετικών ριζόβιων αζωτοδεσμευτικών στελεχών που χρησιμοποιήθηκαν. Στις περιπτώσεις των φυτών που είχαν εμβολιαστεί με τα Ensifer spp και το μείγμα των Bradyrhizobium spp. και Ensifer spp. παρατηρείται υψηλότερη απορρόφηση Σιδήρου κατά το στάδιο της ανθοφορίας (2<sup>η</sup> δειγματοληψία, ενώ τα φυτά που είχαν εμβολιαστεί με το Bradyrhizobium spp. δεν φαίνεται να έχουν απόκλιση στην απορρόφηση του στοιχείου από την αρχή της καλλιέργειας μέχρι και την άνθιση. Παρόλα αυτά, μετά την άνθιση και μέχρι και το τέλος της καλλιέργειας παρατηρείται η μικρότερη απορρόφηση σε Σίδηρο από τα φυτά, χωρίς να υπάρχουν στατιστικές διαφορές μεταξύ των επεμβάσεων.

Στο Γράφημα\_26 παρουσιάζονται οι μέσοι όροι συγκέντρωσης Σιδήρου του υπέργειου τμήματος των φυτών κατά τις τρεις δειγματοληψίες που έγιναν κατά την καλλιεργητική περίοδο συναρτήσεως των 3 διαφορετικών επιπέδων στην παροχή αζώτου στις διαφορετικές επεμβάσεις. Με εξαίρεση την αυξημένη απορρόφηση του στοιχείου από τα φυτά που δεν τους παρέχονταν άζωτο κατά την περίοδο της ανθοφορίας (2<sup>η</sup> δειγματοληψία), η οποία μετά μειώνεται, παρατηρείται μια γενικότερη μείωση στην απορρόφηση του Σιδήρου από την αρχή μέχρι το τέλος της καλλιέργειας. Δεν φαίνεται να υπάρχουν σημαντικές στατιστικές διαφορές μεταξύ των επεμβάσεων, επομένως η απορρόφηση Fe δεν φαίνεται να επηρεάστηκε από τα διαφορετικά επίπεδα παροχής αζώτου, με επίπεδο σημαντικότητας 5%.

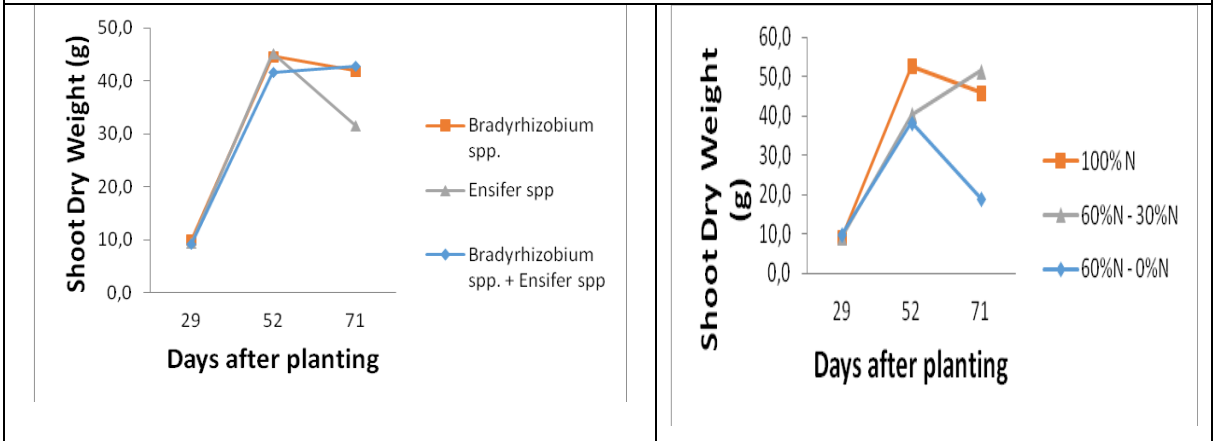
### 6.3.6 ΝΩΠΙΑ & ΞΗΡΑ ΒΑΡΗ ΥΠΕΡΓΕΙΟΥ ΜΕΡΟΥΣ





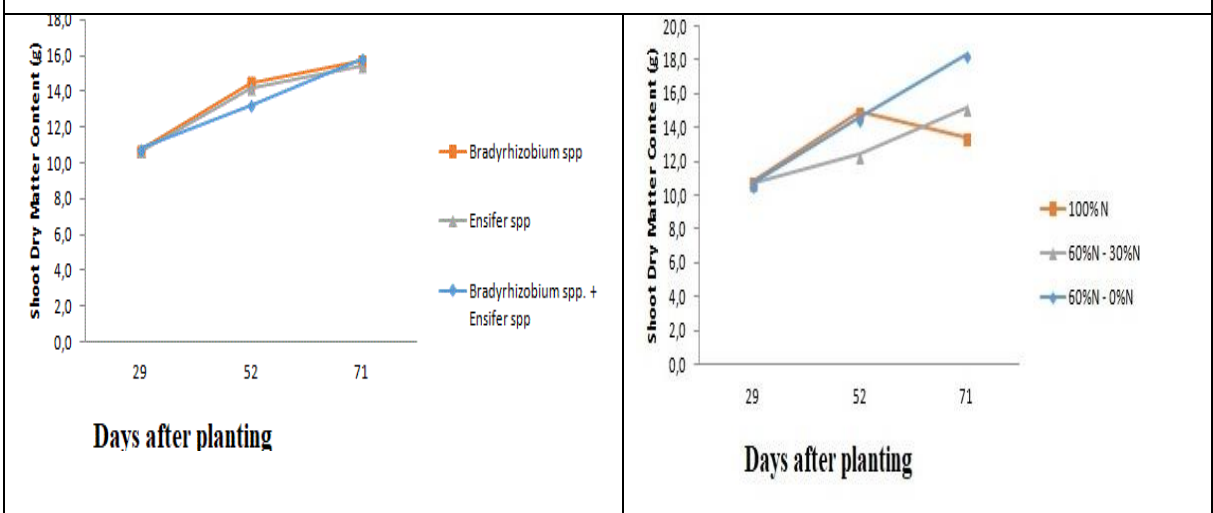
Από το γράφημα\_27, παρατηρούμε τη θετική επίδραση του αζωτοβακτηρίου *Ensifer spp.* στο νωπό βάρος του υπέργειου μέρους του φυτού συγκριτικά με το *Bradyrhizobium*. Παράλληλα, κατά την επίδραση της θρέψης με άζωτο 60-30% το νωπό βάρος βλαστών ήταν ελαφρώς μικρότερες από της επίδρασης πλήρους αζώτου.

Γράφημα\_28: Αριστερά: η επίδραση αζωτοβακτηρίων στο ξηρό βάρος βλαστού καθόλη την καλλιεργητική περίοδο – Δεξιά: η επίδραση διαφορετικών επιπέδων N στο ξηρό βάρος βλαστού καθόλη την καλλιεργητική περίοδο



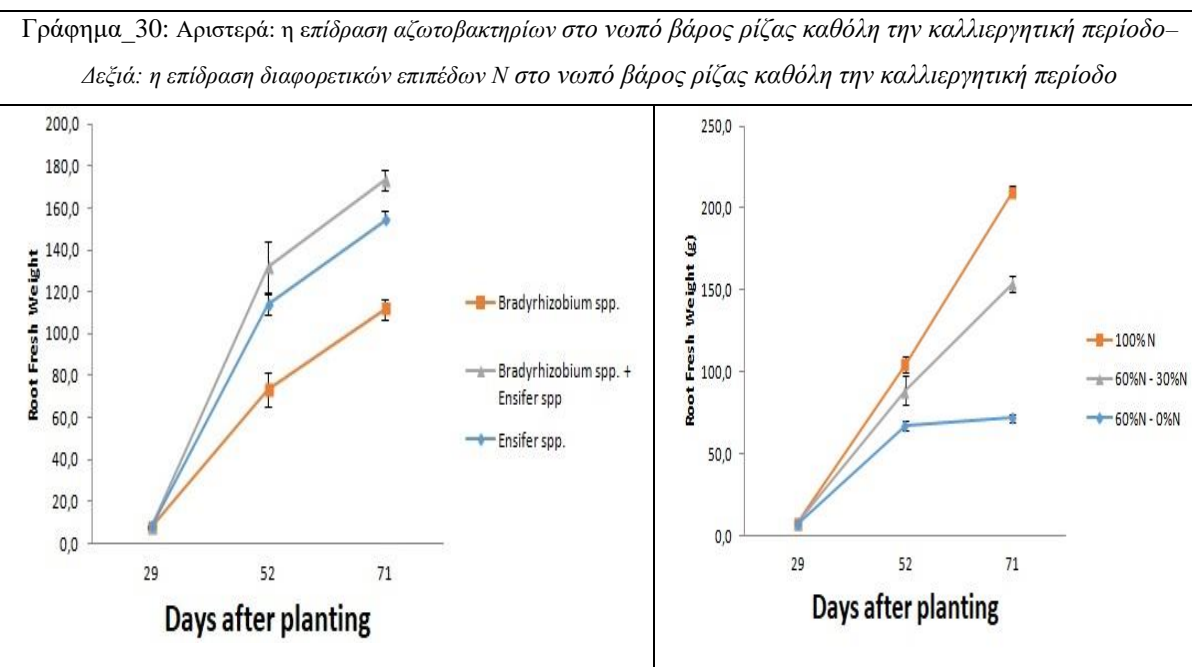
Από το γράφημα\_28, παρατηρούμε ότι στις 52 μέρες μετά τη φύτευση, τα δυο αζωτοβακτήρια δεν παρουσίασαν στατιστικά σημαντική διαφορά στο ξηρό βάρος βλαστού και ότι κατά τη θρέψη με πλήρες άζωτο 100% , σημειώθηκε το μεγαλύτερο ξηρό βάρος βλαστού κι αμέσως μικρότερο ήταν το ξηρό βάρος βλαστών υπό την επίδραση της λίπανσης αζώτου με 60-30%.

Γράφημα\_29: Αριστερά: η επίδραση αζωτοβακτηρίων στη ξηρά ουσία βλαστού καθόλη την καλλιεργητική περίοδο– Δεξιά: η επίδραση διαφορετικών επιπέδων N στη ξηρά ουσία βλαστού καθόλη την καλλιεργητική περίοδο



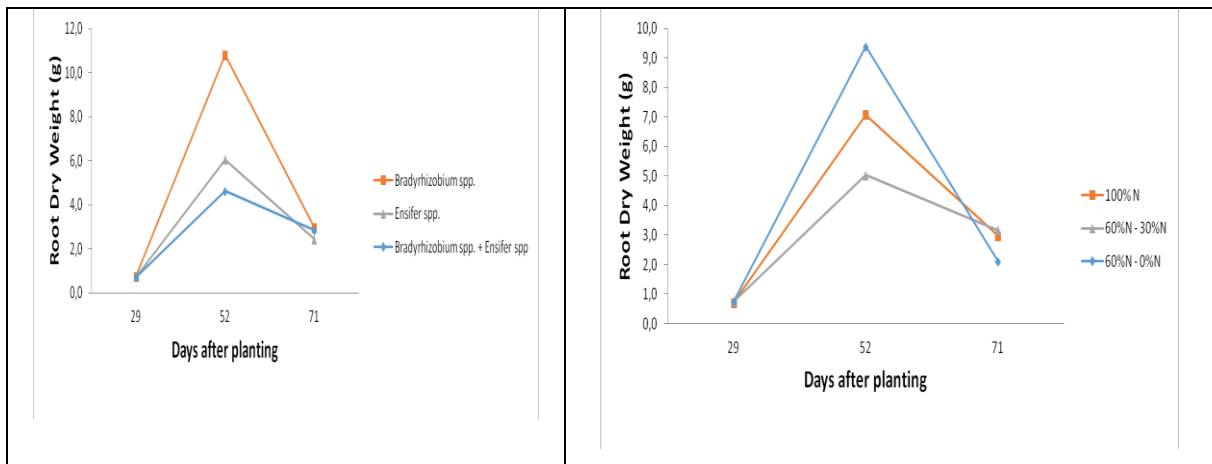
Από το γράφημα\_29, παρατηρούμε ότι το *Bradyrhizobium* εμφανίζει ελάχιστα μεγαλύτερη ξηρά ουσία συγκριτικά με το *Ensifer spp* και κατά τη θρέψη με άζωτο 60-0%, σημειώθηκε η μεγαλύτερη απόδοση σε ξηρά ουσία βλαστού ενώ η μικρότερη απόδοση καταγράφηκε υπό την επίδραση αζώτου 60-30% .

### 6.3.7 ΝΩΠΑ-ΞΗΡΑ ΒΑΡΗ ΡΙΖΑΣ



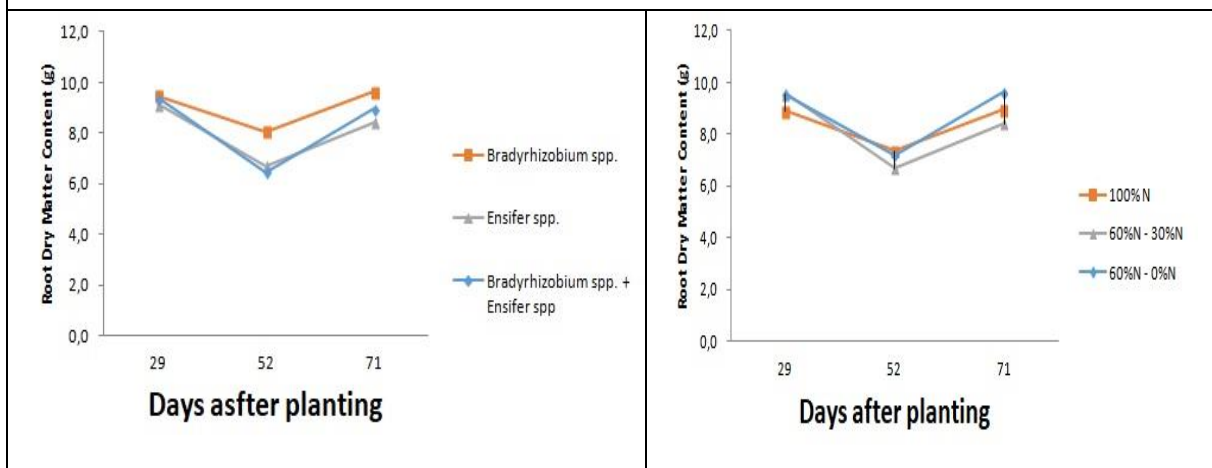
Από το γράφημα\_30, παρατηρούμε το αζωτοβακτήριο *Ensifer* παρουσίασε στατιστικά σημαντική διαφορά στο νωπό βάρος ρίζας και ότι κατά τη θρέψη με πλήρες άζωτο 100%, σημειώθηκε το μεγαλύτερο στο νωπό βάρος ρίζας. Αμέσως μικρότερο νωπό βάρος ρίζας σημειώθηκε υπό την επίδραση της λίπανσης αζώτου με 60-30%.

Γράφημα\_31: : Αριστερά: η επίδραση αζωτοβακτηρίων στο ξηρό βάρος ρίζας καθόλη την καλλιεργητική περίοδο – Δεξιά: η επίδραση διαφορετικών επιπέδων N στο ξηρό βάρος ρίζας καθόλη την καλλιεργητική περίοδο



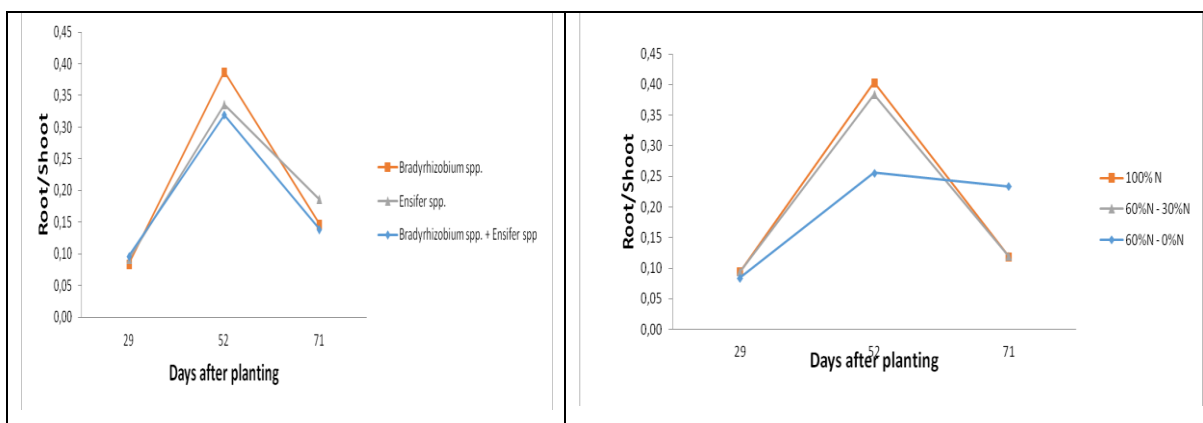
Από το γράφημα\_31, παρατηρούμε το αζωτοβακτήριο *Bradyrhizobium spp* παρουσίασε στατιστικά σημαντική διαφορά στο ξηρό βάρος ρίζας και ότι κατά τη θρέψη με άζωτο 60-0%, σημειώθηκε το μεγαλύτερο ξηρό βάρος ρίζας.

Γράφημα\_32: Αριστερά: η επίδραση αζωτοβακτηρίων στη ξηρά ουσία ρίζας καθόλη την καλλιεργητική περίοδο – Δεξιά: η επίδραση διαφορετικών επιπέδων N στη ξηρά ουσία ρίζας καθόλη την καλλιεργητική περίοδο



Από το γράφημα\_32, παρατηρούμε το αζωτοβακτήριο *Bradyrhizobium spp* παρουσίασε στατιστικά σημαντική διαφορά στη ξηρή ουσία ρίζας και ότι κατά τη θρέψη με άζωτο 60-0%, σημειώθηκε το μεγαλύτερο ξηρή ουσία ρίζας.

Γράφημα\_33: : Αριστερά: η επίδραση αζωτοβακτηρίων στο λόγο ρίζας/βλαστό καθόλη την καλλιεργητική περίοδο – Δεξιά: η επίδραση διαφορετικών επιπέδων N στο λόγο ρίζας/βλαστό καθόλη την καλλιεργητική περίοδο



Από το γράφημα\_33, παρατηρούμε το αζωτοβακτήριο *Bradyrhizobium spp* παρουσίασε στατιστικά σημαντική διαφορά στο λόγο ρίζας /βλαστό και ότι κατά τη θρέψη με άζωτο 100%, σημειώθηκε ο μεγαλύτερος λόγος ρίζας /βλαστό κι ελαφρώς μικρότερος ήταν κατά την επίδραση 60-30%.

#### 6.4 ΔΕΣΜΕΥΣΗ ΑΖΩΤΟΥ

Η ικανότητα αζωτοδέσμευσης υπολογίστηκε με τη μέθοδο της φυσικής αφθονίας του ισότοπου  $^{15}\text{N}$ .

$$\delta^{15}\text{N} (\text{‰}) = \left( \frac{\text{atom}\%^{15}\text{N}_{\text{sample}} - 0.3663}{0.3663} \right) * 1000$$

$$\%Ndfa = \left( \frac{\delta^{15}\text{N of reference plant} - \delta^{15}\text{N of legume}}{\delta^{15}\text{N of reference plant} - B} \right) * 100$$

$$BNF = \frac{DB * N * Ndfa}{100}$$

ΕΠΙΠΕΔΟ N	ΑΖΩΤΟΒΑΚΤΗΡΙΑ	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	Ndfa (%)	ΞΗΡΗ ΒΙΟΜΑΖΑ ΒΛΑΣΤΟΥ ( $\text{t ha}^{-1}$ )	ΣΥΝΟΛΙΚΟ N στα φυτά (%)	ΒΙΟΛΟΓΙΚΑ ΔΕΣΜΕΥΜΕΝΟ N ( $\text{kg ha}^{-1}$ )
100%	<b>Bradyrhizobium spp</b>	4.39 bcd	57.43 cd	59.79 a	48.28 a	99.27 a
	<b>Bradyrhizobium spp + Ensifer spp</b>	3.41 de	64.37 ab	51.28 ab	48.99 a	95.67 ab
	<b>Ensifer spp</b>	4.18 bcd	58.93 bcd	46.87 b	41.89 abc	71.48 b

60-30%	<b>Bradyrhizobium spp</b>	6.17 a	44.81 e	39.10 c	35.14 bcd	52.55 c
	<b>Bradyrhizobium spp + Ensifer spp</b>	5.10 abc	52.37 cde	37.21 c	43.61 a	58.29 c
	<b>Ensifer spp</b>	5.59 ab	48.92 de	38.92 c	29.32 d	47.44 cd
60-0%	<b>Bradyrhizobium spp</b>	3.94 cd	60.60 bc	35.03 c	34.27 bcd	32.75 d
	<b>Bradyrhizobium spp + Ensifer spp</b>	2.18 e	73.07 a	36.29 c	35.48 bcd	50.00 c
	<b>Ensifer spp</b>	3.46 de	64.05 ab	36.11 c	31.88 cd	31.77 d
<b>MAIN EFFECTS</b>						
<b>100% N</b>		3.99b	60.24b	52.64b	46.38b	89.23b
<b>60% - 30% N</b>		5.62c	48.70a	35.81a	36.02a	38.17a
<b>60% - 0% N</b>		3.19a	65.91c	38.41a	33.88a	52.76a
	<b>Bradyrhizobium spp</b>	4.83 a	54.28 b	44.64	39.23 ab	61.52 ab
	<b>Ensifer spp</b>	4.41 a	57.30 b	40.63	34.36 b	50.23 b
	<b>Bradyrhizobium spp + Ensifer spp</b>	3.57 b	63.27 a	41.59	42.69 a	68.41 a
<b>ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΔΙΑΦΟΡΑ</b>						
	<b>ΕΠΗΠΕΔΟ N</b>	***	***	***	***	***
	<b>ΑΖΩΤΟΔΕΣΜΕΥΤΙΚΑ ΣΤΕΛΕΧΗ</b>	***	***	NS	***	*
	<b>ΕΠΗΠΕΔΟ N &amp; ΑΖΩΤΟΔΕΣΜΕΥΤΙΚΑ ΣΤΕΛΕΧΗ</b>	*	*	*	*	*

Η παρούσα μελέτη έδειξε ότι τα ποσοστά του N που προέρχονται από την ατμόσφαιρα κυμαίνονται από 31,44% έως 76,37%, ανεξάρτητα από τις μεταχειρίσεις του εμβολιασμού με ριζόβια. Ειδικότερα, τα ποσοστά του δεσμευμένου N στα φυτά που χορηγήθηκε Θ.Δ. με 60% του πλήρους N και στην συνέχεια 30% ή 0% ανέρχονται σε 72,01% και 76,37% αντίστοιχα. Στη συνέχεια τα φυτά με επάρκεια ανόργανου N εμφάνισαν υψηλότερη ξηρή βιομάζα βλαστών και περιεκτικότητα σε N, ενώ τα φυτά στα οποία σταμάτησαν οι εισροές σε ανόργανο N μετά τις πρώτες 4 εβδομάδες καλλιέργειας εμφάνισαν τις χαμηλότερες τιμές στα παραπάνω μεγέθη. Επιπλέον, ο εμβολιασμός των φυτών με το μείγμα των δύο διαφορετικών στελεχών οδήγησε σε αυξημένα ποσοστά δεσμευμένου N (65,74%) έναντι των φυτών που εμβολιάστηκαν είτε μόνο με το *Bradyrhizobium* spp. (57,09%) είτε μόνο με το *Ensifer* spp. (56,99%). Παρόμοιες αποκλίσεις παρατηρήθηκαν και στις τιμές της ξηρής βιομάζας του υπέργειου τμήματος των φυτών, ενώ ο εμβολιασμός με τα δεδομένα στελέχη δεν οδήγησε σε κάποια σημαντική διαφοροποίηση στην περιεκτικότητα του υπέργειου βλαστού σε ολικό N.

Πίνακας 22. Περιεκτικότητα (%) του N που προέρχεται από την ατμόσφαιρα (%Ndfa), ξηρή βιομάζα και ολικό άζωτο (%) υπέργειου τμήματος, ικανότητα βιολογικής αζωτοδέσμευσης (BAN) αποδιδόμενη σε  $kg\ ha^{-1}$ , ολικού άζωτο (N), και συνολικό βάρος (ΣΒ) λοβών αμπελοφάσουλου καλλιεργούμενου σε διαφορετικά επίπεδα N και εμβολιασμένα με τα στελέχη *Bradyrhizobium* spp. ή *Ensifer* spp. ή το μείγμα αυτών.

ΕΠΗΠΕΔΟ N	ΑΖΩΤΟΒΑΚΤΗΡΙΑ	Ndfa (%)	ΞΗΡΗ ΒΙΟΜΑΖΑ ( $t\ ha^{-1}$ )	Ολικό N (%)	ΒΙΟΛΟΓΙΚΑ ΔΕΣΜΕΥΜΕΝΟ N ( $kg\ ha^{-1}$ )	ΣΒ λοβών (γρ/φυτό)
100% N		31,44 b	3,00 a	5,37 a	51,32 c	114,60 b
60%-30% N		72,01 a	2,65 ab	5,09 a	<b>98,40 a</b>	185,13 a
60%-0% N		76,37 a	2,18 b	3,78 b	63,13 b	110,74 b

<i>Bradyrhizobium</i> spp.	57,09 b	2,21 c	4,60	55,80 b	126,42
<i>Bradyrhizobium</i> spp. & <i>Ensifer</i> spp.	65,74 a	3,01 a	4,81	92,22 b	143,60
<i>Ensifer</i> spp.	56,99 b	2,61 b	4,82	64,83 ab	140,45
Στατιστική σημαντικότητα					
Επίπεδα N	*	*	***	***	***
Ριζόβια	*	***	NS	**	NS
Επίπεδα N *Ριζόβια	NS	NS	NS	NS	NS

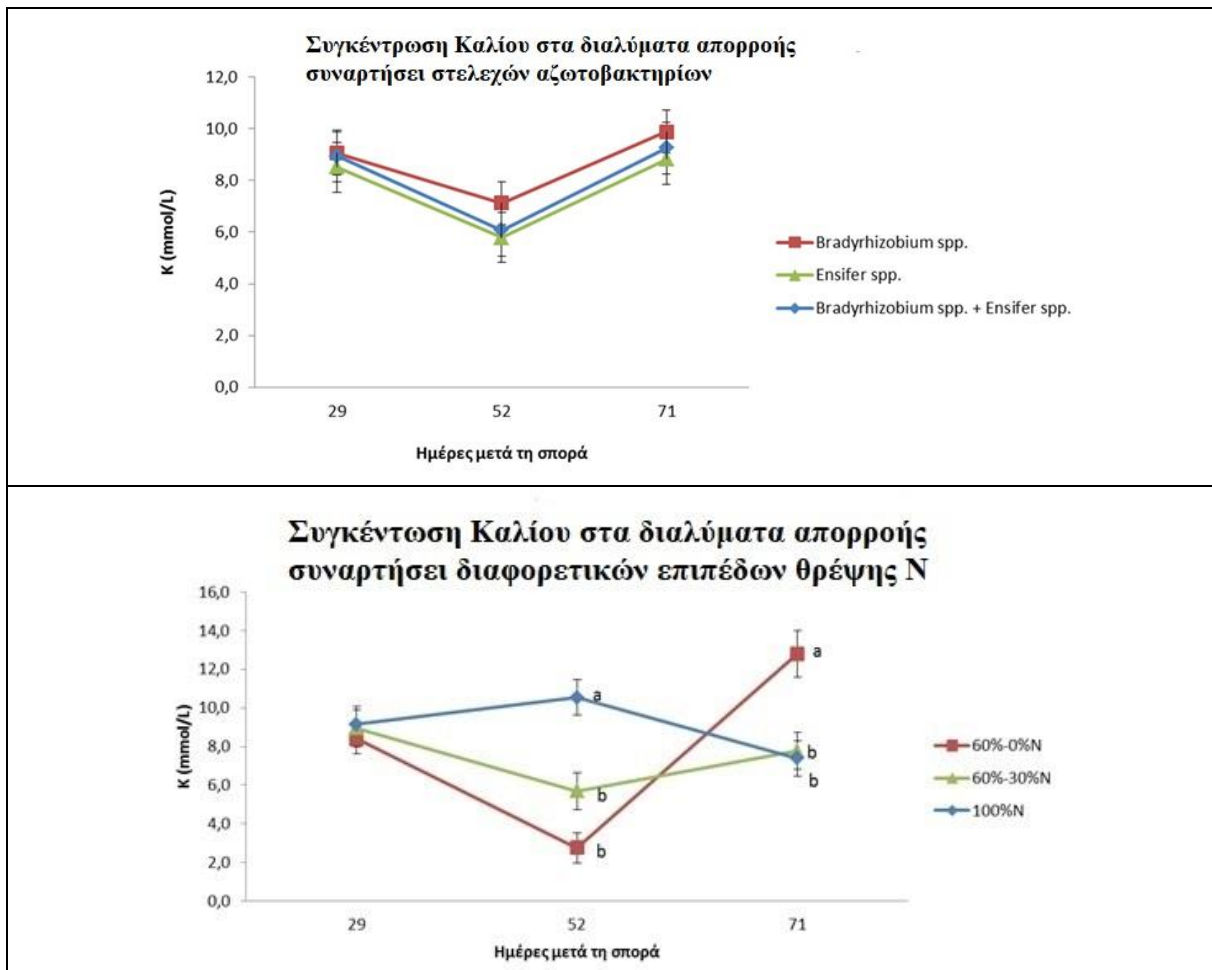
Μέσοι όροι τιμών ( $n = 3$ ) που ακολουθούνται από διαφορετικά γράμματα σε κάθε στήλη υποδηλώνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές σύμφωνα με την δοκιμασία πολλαπλών συγκρίσεων κατά Duncan. Τα σύμβολα \*, \*\*, \*\*\* υποδηλώνουν σημαντικότητα των διαφορών σε  $P < 0,05$ ,  $P < 0,01$ ,  $P < 0,001$ , αντίστοιχα. Η συντομογραφία NS υποδηλώνει μη στατιστική σημαντική διαφορά.

Η μεγαλύτερη ποσότητα συμβιωτικά δεσμευμένου N ( $98,40 \text{ κιλά N εκτ}^{-1}$ ) παρατηρήθηκαν στα φυτά στα οποία παρεχόταν θρεπτικό διάλυμα με συγκέντρωση ανόργανου N που κάλυπτε το 60% και έπειτα το 30% των ολικών αναγκών σε N. Αντίθετα τα φυτά στα οποία παρεχόταν συνεχώς θρεπτικό διάλυμα με 100% N έδωσαν τις χαμηλότερες ποσότητες βιολογικά δεσμευμένου N ανεξάρτητα από τον εμβολιασμό με ριζόβια. Αυτό υποδηλώνει ότι η μείωση της χρήσης ανόργανου N στα παραπάνω επίπεδα οδηγεί σε αύξηση της βιολογικής αζωτοδέσμευσης. Παράλληλα, συγκρίνοντας τις τιμές αυτές με αυτές που καταγράφηκαν από τον Akter κ.ά. (2014) και Kontoroulou κ.α. (2015) για το *Phaseolous vulgaris* ( $\sim 30\text{-}50 \text{ kg N ha}^{-1}$ ), συμπεραίνεται πως το αμπελοφάσουλο έχει εντονότερη αζωτοδεσμευτική ικανότητα από το κοινό φασόλι. Επιπλέον, ο εμβολιασμός των φυτών είτε μόνο με το *Ensifer* spp. είτε με *Ensifer* spp. σε συνδυασμό με *Bradyrhizobium* spp. φαίνεται να συμβάλλει στην αύξηση της αζωτοδεσμευτικής ικανότητας, ανεξάρτητα από τις μεταχειρίσεις με διαφορετικά επίπεδα N. Τα φυτά στα οποία χορηγήθηκε επαρκές ανόργανο N δεν επωφελήθηκαν από τον εμβολιασμό όσο αφορά την παραγωγή, γεγονός που έχει παρατηρηθεί και σε προηγούμενες μελέτες (Vargas κ.ά., 2000). Επιπλέον, ο εμβολιασμός με ριζόβια δεν επηρέασε την συγκέντρωση θρεπτικών συστατικών στον βλαστό. Επιπλέον, τα φυτά στα οποία χορηγήθηκε N που ανταποκρινόταν στο 60% τον ολικών αναγκών του φυτού τις 4 πρώτες εβδομάδες και 30% έως το τέλος τις καλλιεργητικής περιόδου, εμφάνισαν μεγαλύτερη παραγωγή σε λοβούς από τα φυτά στα οποία διακόπηκε η εφαρμογή ανόργανου N μετά τις πρώτες 4 εβδομάδες καλλιέργειας. Συμπερασματικά φαίνεται πως η ήπια μείωση του ανόργανου N πριν και μετά τον σχηματισμό φυματίων θεωρείται πιο αποτελεσματική πρακτική για την μείωση των εξωτερικών εισροών N χωρίς να επηρεάζεται η απόδοση παραγωγής της υδροπονικής καλλιέργειας αμπελοφάσουλου σε αδρανή υποστρώματα.

## 6.5 ΘΡΕΠΤΙΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΔΙΑΛΥΜΑΤΩΝ ΑΠΟΡΡΟΗΣ

### 6.5.1 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΚΑΛΙΟΥ ΣΤΑ ΔΙΑΛΥΜΑΤΑ ΑΠΟΡΡΟΗΣ

Γράφημα 33: Γράφημα συγκέντρωσης Καλίου στα διαλύματα Απορροής συναρτήσει των στελεχών αζωτοβακτηρίων και του συνδυασμού τους καθώς και διαφορετικών επιπέδων θρέψης με N



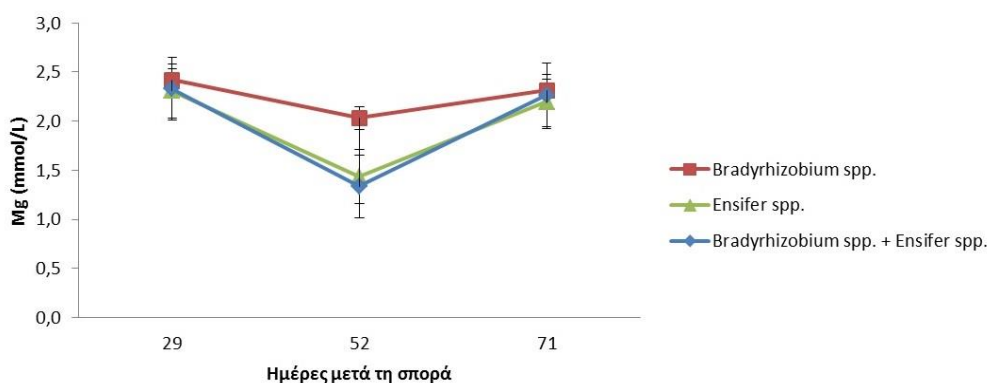
Στο Γράφημα\_32 παρατηρείται, όπως και στην περίπτωση της συγκέντρωσης Καλίου στο υπέργειο μέρος των φυτών, ότι κατά την περίοδο της ανθοφορίας (2<sup>η</sup> δειγματοληψία) οι συγκεντρώσεις Καλίου στα διαλύματα απορροής που συλλέχτηκαν εμφανίζονται μειωμένες σε σχέση με τις άλλες δύο δειγματοληψίες και για τις τρεις διαφορετικές επεμβάσεις, χωρίς να προκύπτει παρόλα αυτά στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των στελεχών. Καθόλη τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου φαίνεται πως περισσότερο Κάλιο εντοπίζεται στα θρεπτικά διαλύματα που συλλέχτηκαν από τα φυτά που είχαν εμβολιαστεί με το Bradyrhizobium spp. ενώ το λιγότερο K εντοπίζεται στα φυτά που ήταν εμβολιασμένα με το Ensifer spp. Παρατηρείται πως κατά τη περίοδο της ανάπτυξης (1<sup>η</sup> δειγματοληψία) οι συγκεντρώσεις K και για τις 3 διαφορετικές επεμβάσεις είναι περίπου οι ίδιες, χωρίς να υπάρχουν σημαντικά στατιστικές διαφορές. Κατά την περίοδο της άνθισης (2<sup>η</sup> δειγματοληψία) παρατηρείται πως μεγαλύτερες στατιστικά συγκεντρώσεις Καλίου μετρήθηκαν στα διαλύματα απορροής των φυτών στα οποία παρέχόταν το πλήρες σε άζωτο θρεπτικό διάλυμα (100%N), ακολουθούν αυτά από τα φυτά στα οποία παρέχόταν το 30% σε άζωτο, ενώ τις μικρότερες συγκεντρώσεις Καλίου είχαν τα διαλύματα από τα

φυτά στα οποία δεν παρεγόταν άζωτο. Κατά την περίοδο της συγκομιδής η μεγαλύτερη συγκέντρωση K μετρήθηκε στα διαλύματα των φυτών χωρίς παροχή αζώτου, ενώ χαμηλότερες συγκεντρώσεις, χωρίς στατιστικές διαφορές μεταξύ τους, παρατηρούνται στα διαλύματα των φυτών από τις άλλες δυο επεμβάσεις (100%, 60%-30%).

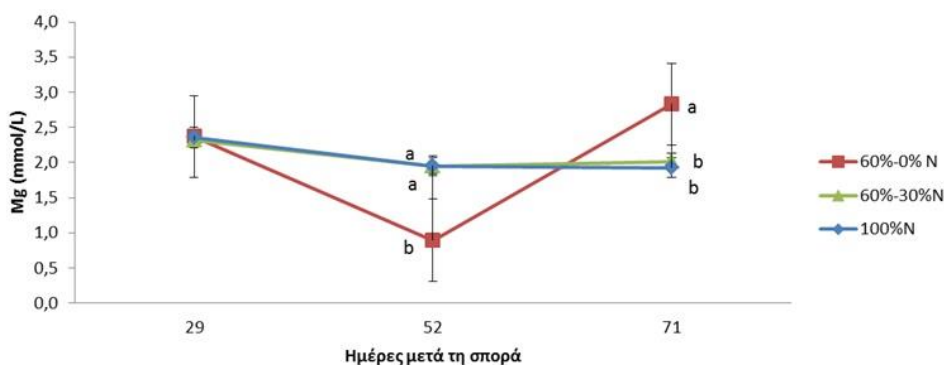
### 6.5.2 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΜΑΓΝΗΣΙΟΥ ΣΤΑ ΔΙΑΛΥΜΑΤΑ ΑΠΟΡΡΟΗΣ

Γράφημα\_33: Γράφημα συγκέντρωσης Μαγνησίου στα διαλύματα Απορροής συναρτήσει των στελεχών αζωτοβακτηρίων και του συνδυασμού τους καθώς και διαφορετικών επιπέδων θρέψης με N

Συγκέντρωση μαγνησίου στα διαλύματα απορροής συναρτήσει των αζωτοβακτηρίων



Συγκέντρωση Μαγνησίου στα διαλύματα απορροής συναρτήσει διαφορετικών επιπέδων N



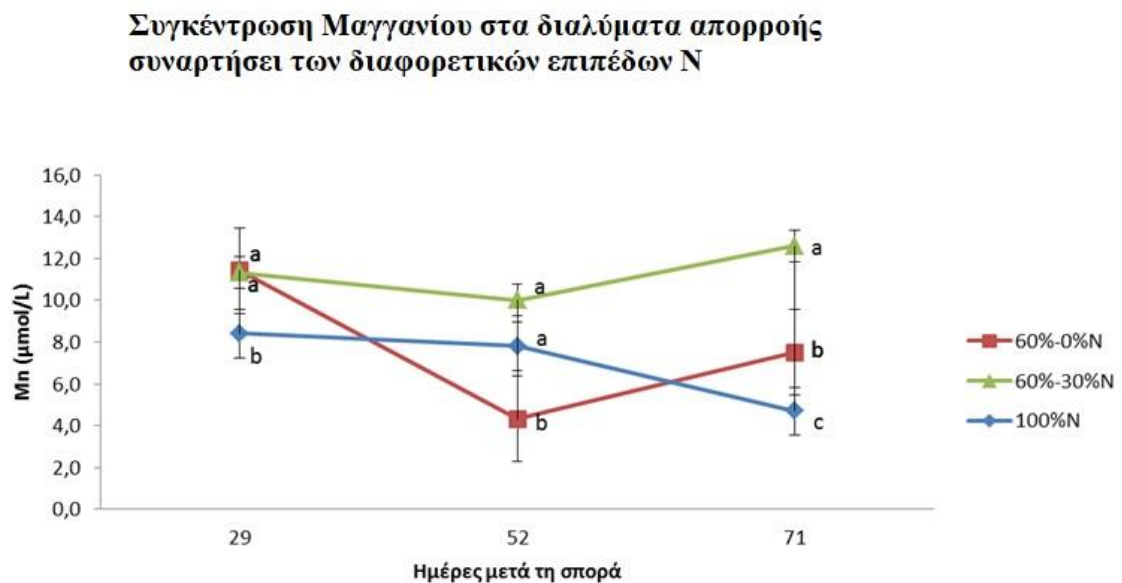
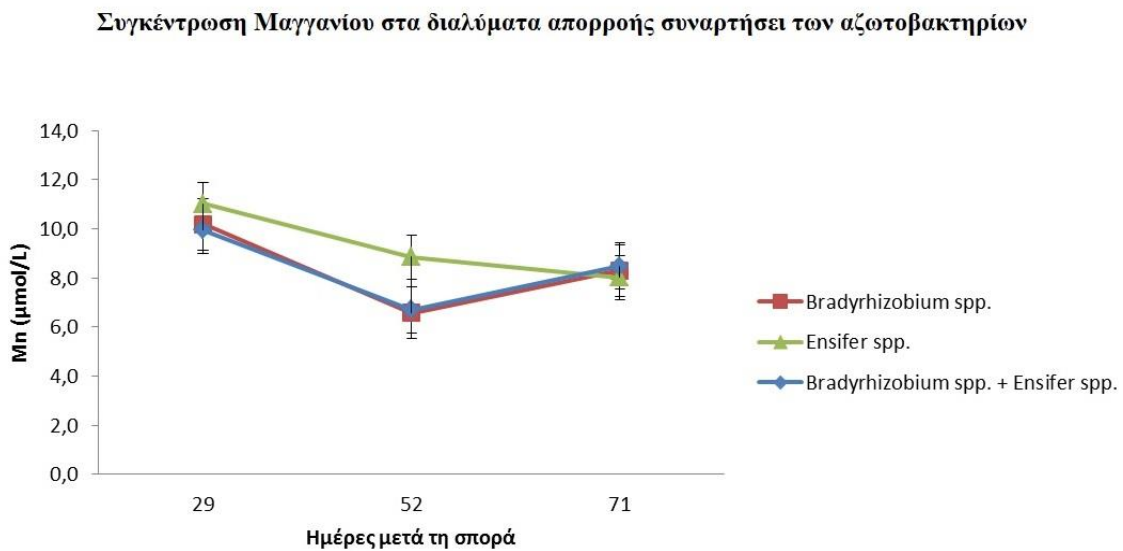
Αντίστοιχα με το Κάλιο, έτσι και στην περίπτωση του Μαγνησίου δεν παρατηρούνται στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των επεμβάσεων με τα διαφορετικά αζωτοδεσμευτικά στελέχη. Στα διαλύματα απορροής που συλλέχθηκαν από τα φυτά που ήταν εμβολιασμένα με το *Bradyrhizobium spp.* φυτά φαίνεται πως η συγκέντρωση Mg ήταν υψηλότερη από τις άλλες δύο επεμβάσεις καθ' όλη την καλλιεργητική περίοδο. Επίσης, παρατηρείται μια μείωση στη συγκέντρωση Μαγνησίου στα θρεπτικά διαλύματα κατά τη 2<sup>η</sup> δειγματοληψία για όλες τις επεμβάσεις, η οποία συγκέντρωση έπειτα αυξάνεται μέχρι το στάδιο της συγκομιδής.



Ενώ δεν παρατηρούνται σημαντικές στατιστικές διαφορές μεταξύ των συγκεντρώσεων Μαγνησίου στα διαλύματα απορροής για τις επεμβάσεις 100%N και 60%-30%N και παραμένουν περίπου ίδιες καθ' όλη τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου, ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι διαφορές στην συγκέντρωση Mg στα διαλύματα απορροής από τα φυτά που δεν τους παρεχόταν άζωτο (60%-0%N), οι οποίες είναι πολύ χαμηλότερες συγκριτικά με αυτές των άλλων δυο επεμβάσεων κατά την περίοδο της ανθοφορίας, και συγκριτικά υψηλότερες από τις αντίστοιχες των άλλων επεμβάσεων κατά την περίοδο της συγκομιδής.

### 6.5.3 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΜΑΓΓΑΝΙΟΥ ΣΤΑ ΔΙΑΛΥΜΑΤΑ ΑΠΟΡΡΟΗΣ

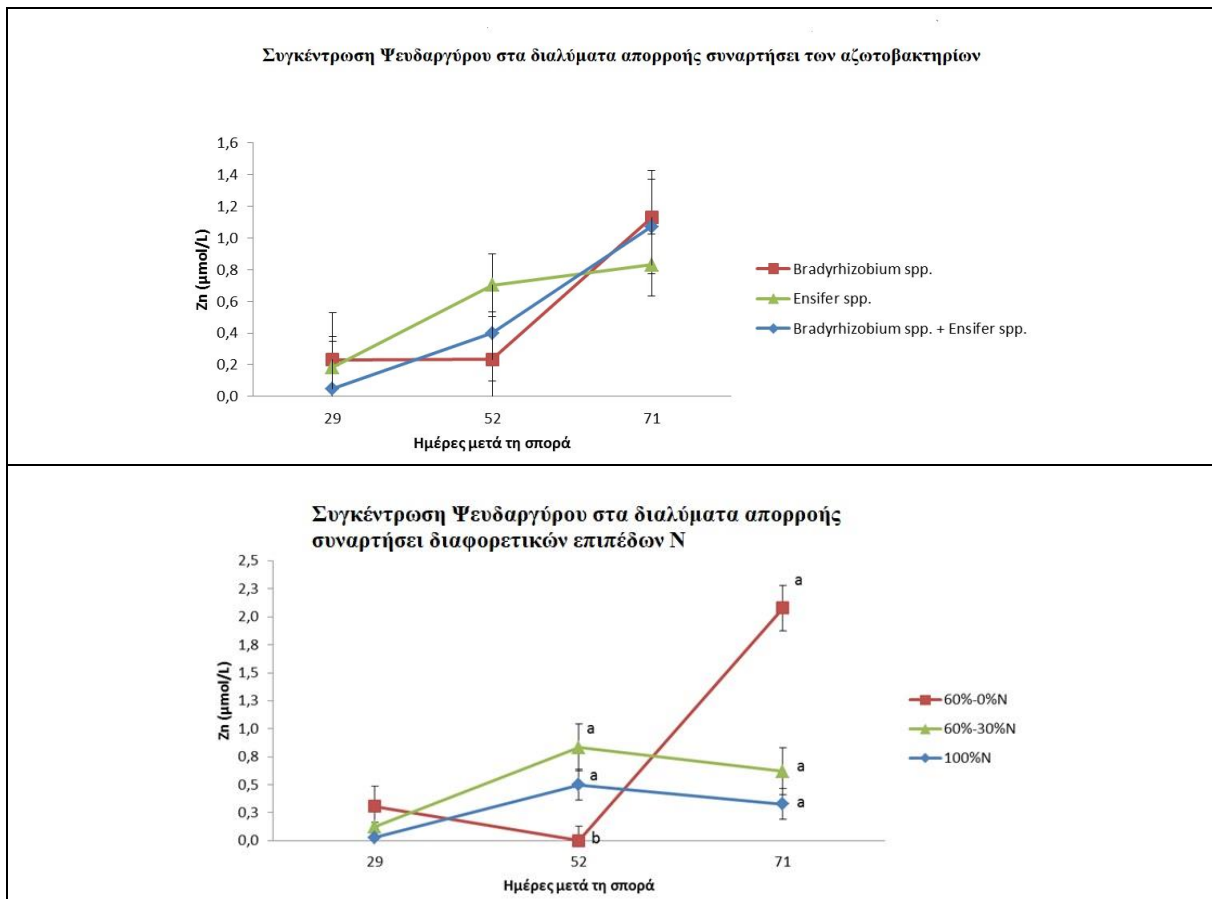
Γράφημα\_34: Γράφημα συγκέντρωσης Μαγανίου στα διαλύματα Απορροής συναρτήσει των στελεχών αζωτοβακτηρίων και του συνδυασμού τους καθώς και διαφορετικών επιπέδων θρέψης με N



Στο Γράφημα\_34 παρουσιάζονται οι μέσοι όροι συγκέντρωσης Μαγγανίου, που μετρήθηκαν στα διαλύματα απορροής κατά τις τρεις δειγματοληψίες που έγιναν κατά την καλλιεργητική περίοδο συναρτήσει των 3 διαφορετικών ριζόβιων αζωτοδεσμευτικών στελεχών που χρησιμοποιήθηκαν και των διαφορετικών επιπέδων στην παροχή αζώτου στις διαφορετικές επεμβάσεις. Γενικά, παρατηρείται μια μείωση στις συγκεντρώσεις Mn στα διαλύματα απορροής κατά την περίοδο της ανθοφορίας (2η δειγματοληψία) σε σχέση με την 1η δειγματοληψία στο στάδιο της ανάπτυξης. Φαίνεται πως στα θρεπτικά διαλύματα από τα φυτά που ήταν εμβολιασμένα με το Ensifer spp. η συγκέντρωση Mn είναι υψηλότερη από τις άλλες δύο επεμβάσεις κατά τις φάσεις της ανάπτυξης και της άνθησης, χωρίς να υπάρχει, όμως, σημαντική στατιστική διαφορά. Αυτή η διαφορά δεν υπάρχει κατά το στάδιο της συγκομιδής κατά το οποίο οι συγκεντρώσεις μαγγανίου είναι σχεδόν ίσες και για τις τρεις επεμβάσεις. Κατά την πρώτη δειγματοληψία, στο στάδιο της ανάπτυξης, χαμηλότερες συγκριτικά με τις άλλες δύο επεμβάσεις, συγκεντρώσεις Mn μετρήθηκαν στα διαλύματα απορροής από τα φυτά στα οποία παρεχόταν πλήρες σε άζωτο θρεπτικό διάλυμα (100%N). Κατά την περίοδο της ανθοφορίας, παρατηρείται πώς οι συγκεντρώσεις Μαγγανίου για τις επεμβάσεις 100%N και 60%-30%N στα διαλύματα απορροής παραμένουν περίπου ίδιες με τις αντίστοιχες της 1ης δειγματοληψίας, ενώ η συγκέντρωση του στοιχείου στα διαλύματα απορροής των φυτών που δεν τους παρεχόταν άζωτο μειώνεται αρκετά συγκριτικά με αυτή της 1ης δειγματοληψίας. Κατά την τρίτη δειγματοληψία, που συνέπιπτε με την περίοδο συγκομιδής των καρπών, παρατηρείται μείωση των συγκεντρώσεων Μαγγανίου για την επέμβαση 100%, και αύξηση των συγκεντρώσεων για τις άλλες δύο δειγματοληψίες (60-30%N και 60%-0%N) με την υψηλότερη συγκέντρωση να παρατηρείται στην επέμβαση 60%-30%N.

#### **6.5.4 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΨΕΥΔΑΡΓΥΡΟΥ ΣΤΑ ΔΙΑΛΥΜΑΤΑ ΑΠΟΡΡΟΗΣ**

Γράφημα\_35: Γράφημα συγκέντρωσης Ψευδαργύρου στα διαλύματα Απορροής συναρτήσει των στελεχών αζωτοβακτηρίων και του συνδυασμού τους καθώς και διαφορετικών επιπέδων θρέψης με N

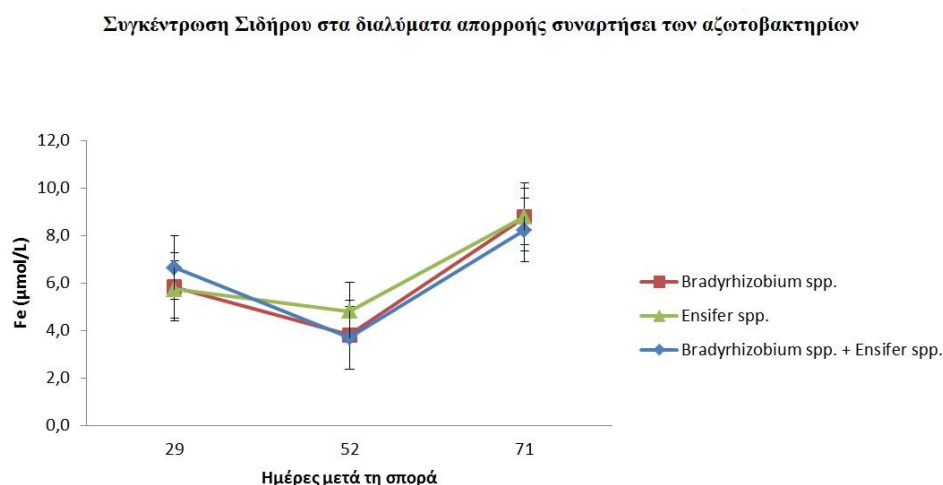


Στο Γράφημα\_35 παρουσιάζονται οι μέσοι όροι συγκέντρωσης Ψευδαργύρου που μετρήθηκαν στα διαλύματα απορροής κατά τις τρεις δειγματοληψίες που έγιναν κατά την καλλιεργητική περίοδο συναρτήσει των 3 διαφορετικών ριζόβιων αζωτοδεσμευτικών στελεχών που χρησιμοποιήθηκαν και των 3 διαφορετικών επιπέδων στην παροχή αζώτου στις διαφορετικές επεμβάσεις. Χωρίς να υπάρχουν σημαντικές στατιστικές διαφορές, με επίπεδο σημαντικότητας 5%, μεταξύ των διαφορετικών επεμβάσεων, παρατηρείται ότι υπάρχει μια γενική αύξηση στη συγκέντρωση Zn στα διαλύματα απορροής από την αρχή της καλλιέργειας μέχρι το στάδιο της συγκομιδής, όπου κι εμφανίζεται η μεγαλύτερη συγκέντρωση ψευδαργύρου. Για τις επεμβάσεις 100%N και 60%-30% δεν υπάρχουν σημαντικές στατιστικές διαφορές καθόλη τη διάρκεια του πειράματος, με τις συγκεντρώσεις ψευδαργύρου στα αντίστοιχα διαλύματα απορροής να αυξάνονται κατά την περίοδο της άνθισης (2<sup>η</sup> δειγματοληψία) και κατά την περίοδο της συγκομιδής (3<sup>η</sup> δειγματοληψία) να μειώνονται σε μικρό βαθμό. Όσον αφορά την επέμβαση κατά την οποία στα φυτά δεν παρέχεται άζωτο, φαίνεται πως κατά την 1<sup>η</sup> δειγματοληψία, η συγκέντρωση Zn είναι ελαφρώς υψηλότερη από τις αντίστοιχες των άλλων δύο επεμβάσεων, χωρίς παρόλα αυτά να υπάρχουν σημαντικές στατιστικές διαφορές. Παρόλα αυτά, κατά την 2<sup>η</sup> δειγματοληψία, η συγκέντρωση ψευδαργύρου γι' αυτή την επέμβαση φαινομενικά σχεδόν

μηδενίζεται, ενώ έπειτα μέχρι την περίοδο της συγκομιδής και την 3<sup>η</sup> καταστρεπτική δειγματοληψία αυξάνεται απότομα και παίρνει τιμές συγκριτικά πολύ μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες των άλλων δύο επεμβάσεων.

### 6.5.5 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΣΙΔΗΡΟΥ ΣΤΑ ΔΙΑΛΥΜΑΤΑ ΑΠΟΡΡΟΗΣ

Γράφημα\_36: Γράφημα συγκέντρωσης Σιδήρου στα διαλύματα Απορροής συναρτήσει των στελεχών αζωτοβακτηρίων και του συνδυασμού τους καθώς και διαφορετικών επιπέδων θρέψης με N

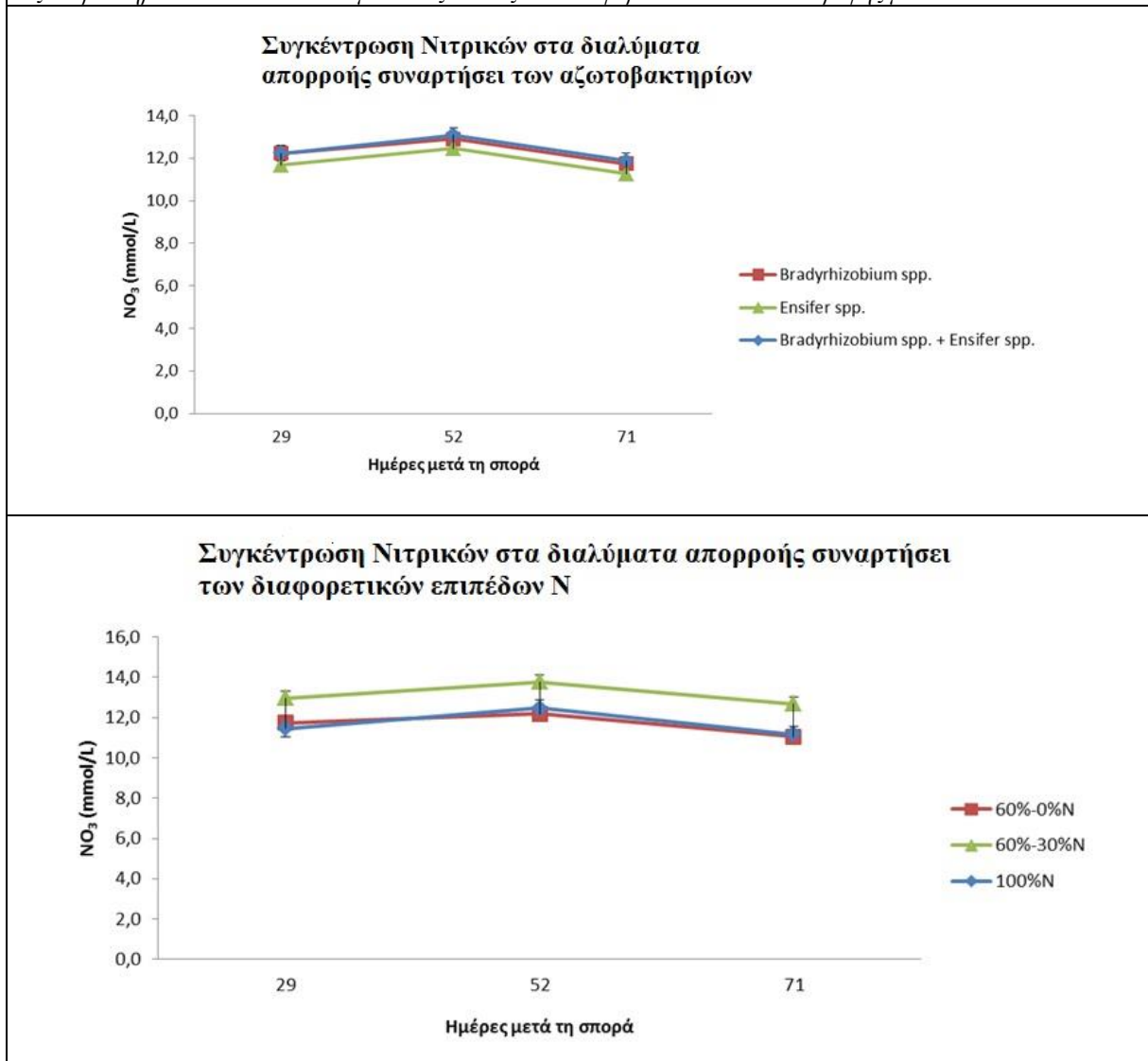


Στο γράφημα\_36 παρουσιάζονται οι μέσοι όροι συγκέντρωσης Σιδήρου που μετρήθηκαν στα διαλύματα απορροής κατά τις τρεις δειγματοληψίες που έγιναν κατά την καλλιεργητική περίοδο συναρτήσει των 3 διαφορετικών ριζόβιων αζωτοδεσμευτικών στελεχών που χρησιμοποιήθηκαν και των 3 διαφορετικών επιπέδων στην παροχή αζώτου στις διαφορετικές επεμβάσεις.. Χωρίς να υπάρχουν σημαντικές στατιστικές διαφορές, με επίπεδο σημαντικότητας 5%, μεταξύ των διαφορετικών επεμβάσεων, η μικρότερη συγκέντρωση σιδήρου στο διαλύματα απορροής

παρατηρείται κατά την άνθιση (2<sup>η</sup> δειγματοληψία), ενώ η υψηλότερη κατά την περίοδο της συγκομιδής (3<sup>η</sup> δειγματοληψία). Οι συγκεντρώσεις Fe της επέμβασης 100%N μεταβάλλονται λίγο μέσα στη διάρκεια του χρόνου, ενώ κατά τις 2 πρώτες δειγματοληψίες είναι συγκριτικά υψηλότερες από τις αντίστοιχες των άλλων δύο επεμβάσεων. Η μικρότερη συγκέντρωση σιδήρου στα διαλύματα απορροής κατά τις 2 πρώτες δειγματοληψίες μετρήθηκε σε αυτά από τα φυτά της επέμβασης 60%- 0%N, κάτι το οποίο αντιστράφηκε κατά την 3<sup>η</sup> δειγματοληψία, κατά την οποία τα φυτά αυτής της επέμβασης έδωσαν διαλύματα απορροής με την υψηλότερη συγκριτικά συγκέντρωση Fe.

### 6.5.6 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΝΙΤΡΙΚΩΝ

Γράφημα\_37: Γράφημα συγκέντρωσης Νιτρικών στα διαλύματα Απορροής συναρτήσει των στελεχών αζωτοβακτηρίων και του συνδυασμού τους καθώς και διαφορετικών επιπέδων θρέψης με N



Στο Γράφημα\_38 παρουσιάζονται οι μέσοι όροι συγκέντρωσης Νιτρικών που μετρήθηκαν στα διαλύματα απορροής κατά τις τρεις δειγματοληψίες που έγιναν κατά την καλλιεργητική

περίοδο συναρτήσσει των 3 διαφορετικών ριζόβιων αζωτοδεσμευτικών στελεχών που χρησιμοποιήθηκαν και των 3 διαφορετικών επιπέδων στην παροχή αζώτου στις διαφορετικές επεμβάσεις. Δεν παρατηρούνται σημαντικές διαφορές ούτε μεταξύ των επεμβάσεων με τα διαφορετικά αζωτοδεσμευτικά στελέχη, αλλά ούτε και στις συγκεντρώσεις των νιτρικών ιόντων κατά τις διαφορετικές καταστρεπτικές δειγματοληψίες. Ελάχιστα υψηλότερες είναι οι συγκεντρώσεις των νιτρικών κατά την άνθιση, αλλά οι διαφορές αυτές μπορούν να θεωρηθούν αμελητέες. Παρόλο που τα επίπεδα θρέψης με άζωτο διέφερε πολύ κατά τις διαφορετικές επεμβάσεις, δεν φαίνεται να υπάρχουν σημαντικές στατιστικά διαφορές μεταξύ των συγκεντρώσεων των νιτρικών στα διαλύματα απορροής και στις 3 δειγματοληψίες. Ελαφρώς αυξημένες συγκεντρώσεις εμφανίζονται στα διαλύματα απορροής από τα φυτά στα οποία παρεχόταν το θρεπτικό διάλυμα με το 60%-30%N.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ VII

### 7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Εκμεταλλεούμενοι την ικανότητα συμβίωσης των ψυχανθών φυτών με ριζόβια στελέχη ικανά να αζωτοδεσμεύουν βιολογικά, στην υδροπονία μπορούμε να ελαττώσουμε σημαντικά τις εισροές του ανόργανου αζώτου στα θρεπτικά διαλύματα, εμβολιάζοντας τα ψυχανθή φυτά με κατάλληλα αζωτοδεσμευτικά ριζόβια βακτηριακά στελέχη. Η προσπάθεια μείωσης των εισροών αυτών, χωρίς να επηρεάζονται ταυτόχρονα και οι αποδόσεις της εκάστοτε παραγωγής, αποτελεί στρατηγική που συμβάλλει σε πιο βιώσιμη παραγωγή των καλλιεργειών.

Παρόλα αυτά, η πρακτική εφαρμογή της ανωτέρω προσέγγισης παρουσιάζει ορισμένες δυσκολίες. Κατ' αρχάς, διότι η παροχή διαθέσιμου αζώτου στα φυτά είναι σημαντική στο στάδιο της πρώιμης ανάπτυξης, όταν τα ριζόβια στελέχη δεν είναι ακόμα λειτουργικά για αζωτοδέσμευση. Παράλληλα, το νιτρικό άζωτο αναστέλλει τη δημιουργία αποικιών των βακτηριακών στελεχών.

Ο σκοπός του παρόντος πειράματος ήταν η διερεύνηση της επίδρασης της βιολογικής αζωτοδέσμευσης στην ανάπτυξη, παραγωγή και την απορρόφηση τόσο μακροστοιχείων όσο και ιχνοστοιχείων σε υδροπονική καλλιέργεια βίγνας σε υδροπονικό περλίτη τόσο υπό την επίδραση σταδιακά μειωμένων συνθηκών παροχής αζώτου, όσο και υπό την επίδραση διαφορετικών αζωτοδεσμευτικών ριζόβιων στελεχών.

Η επιλογή των θρεπτικών διαλυμάτων έγινε λαμβάνοντας υπόψη σχετικά βιβλιογραφικά δεδομένα βάσει των αναγκών του συγκεκριμένου φυτικού είδους (μαυρομάτικο φασόλι) και τις επικρατούσες καιρικές συνθήκες (Άνοιξη στην Αττική).

Το πείραμα ήταν διπαραγοντικό, καθώς μελετήθηκαν παράλληλα τόσο η επίδραση των διαφορετικών αζωτοδεσμευτικών στελεχών όσο και η επίδραση των διαφορετικών επιπέδων αζώτου τόσο στην παραγωγή όσο και στη βιολογική αζωτοδέσμευση και την απορρόφηση διαφόρων θρεπτικών στοιχείων. Έτσι, προέκυψαν με συνδυασμό των δύο ανωτέρω παραμέτρων, 9 διαφορετικές επεμβάσεις.

Μέσω των στατιστικών αναλύσεων που έγιναν φάνηκε πώς δεν υπήρξε ουσιαστικά αλληλεπίδραση μεταξύ των δύο παραγόντων που εξετάστηκαν, επομένως αναλύθηκε ξεχωριστά η επίδραση του κάθε παράγοντα για κάθε μέτρηση.

Πιο συγκεκριμένα, όσον αφορά στην παραγωγή των καρπών παρατηρήθηκε ότι μεταξύ των διαφορετικών αζωτοδεσμευτικών στελεχών δεν υπήρξαν στατιστικά σημαντικά διαφορές στη διαμόρφωση του βάρους της παραγωγής καθώς και του συνολικού αριθμού καρπών που ελήφθησε από κάθε επέμβαση. Σημαντικό ρόλο, παρόλα αυτά έπαιξε η διαφορετική θρέψη με άζωτο σε κάθε επέμβαση καθώς στην περίπτωση της θρέψης με το θρεπτικό διάλυμα που περιείχε 30%N έδωσε τόσο μεγαλύτερο συνολικό βάρος παραγωγής όσο και μεγαλύτερο συνολικό αριθμό καρπών.

Τα αγρονομικά χαρακτηριστικά των καρπών (διάμετρος, μήκος και αριθμός σπερμάτων ανά λοβό) επίσης, δεν επηρεάστηκαν από τα διαφορετικά βακτηριακά στελέχη ενώ λίγο επηρεάστηκαν από τα διαφορετικά επίπεδα θρέψης αζώτου, καθώς οι καρποί που συγκομίστηκαν από τα φυτά στα οποία δεν παρεχόταν άζωτο (0%N) έδωσαν καρπούς με συγκριτικά μικρότερη διάμετρο, μήκος και αριθμό σπερμάτων ανά λοβό.

Σημαντική επίδραση είχαν τα διαφορετικά στελέχη ριζόβιων αζωτοβακτηρίων στον αριθμό αλλά και το μέγεθος των σχηματισμένων φυματίων στο ριζικό σύστημα των φυτών κατά την περίοδο της συγκομιδής. Όπως προέκυψε από την στατιστική ανάλυση, φάνηκε πως τα φυμάτια που καταμετρήθηκαν από τα φυτά που είχαν εμβολιαστεί με το στέλεχος *Ensifer spp.* ήταν τόσο περισσότερα σε αριθμό όσο και μεγαλύτερα σε μέγεθος και βάρος, συγκριτικά με αυτά που καταμετρήθηκαν από τα εμβολιασμένα με το *Bradyrhizobium spp.* φυτά. Μεταξύ των δύο αυτών, βρίσκονταν οι μετρήσεις που προήλθαν από την μόλυνση με το μείγμα των ανωτέρω στελεχών.

Αντίστοιχα, σημαντική επίδραση στη δημιουργία και ανάπτυξη των φυματίων είχε και η επέμβαση με διαφορετικά επίπεδα θρέψης αζώτου. Σε αυτή την περίπτωση τα φυτά στα οποία παρεχόταν το πλήρες σε άζωτο θρεπτικό διάλυμα έδωσε περισσότερα αλλά πολύ μικρότερα σε βάρος φυμάτια, ενώ τα λιγότερα αλλά μεγαλύτερα φυμάτια ελήφθησαν από φυτά στα οποία δεν παρεχόταν άζωτο (0%N).

Η μελέτη του εμβολιασμού του αμπελοφάσουλου με ριζόβια σε υδροπονικά συστήματα δίνει την δυνατότητα μελέτης της επίδρασης ενός συγκεκριμένου αζωτοδεσμευτικού στελέχους στην συμβιωτική αζωτοδέσμευση, χωρίς την παρεμβολή άλλων στελεχών. Αυτό συμβαίνει γιατί στα αδρανή υποστρώματα δεν υπάρχουν γηγενή στελέχη ριζοβίων και επομένως τα εμβολιαζόμενα στελέχη αποικίζουν εύκολα τις ρίζες και σχηματίζουν φυμάτια, ενώ η βιολογική αζωτοδέσμευση που παρατηρείται οφείλεται αποκλειστικά και μόνο σε αυτά. Αντίθετα, στις καλλιέργειες εδάφους το πλεονέκτημα αυτό χάνεται, καθώς ο εμβολιασμός είναι πιθανόν να επηρεαστεί αρνητικά από την παρουσία άλλων ανταγωνιστικών ριζοβίων που μπορεί να απαντώνται σε μεγάλους πληθυσμούς (Thies et al. 1991; Aguilar κ.ά., 2001).

Ελέγχοντας τη συσσώρευση των αζωτοβακτηρίων της *Vigna unguiculata cv. unguiculata*, σε υδροπονικές συνθήκες διευκολύνει τον ακριβή προσδιορισμό της αζωτοδέσμευσης Αζώτου (BNF), παρέχοντας επίσης πληροφορίες σχετικά με την ενδεχόμενη μείωση ανόργανου αζώτου, μέσω της προσθήκης λιπασμάτων.

Η μεγαλύτερη ποσότητα συμβιωτικά δεσμευμένου N παρατηρήθηκε στα φυτά στα οποία παρεχόταν θρεπτικό διάλυμα με συγκέντρωση ανόργανου N που κάλυπτε το 60% και έπειτα το 30% των ολικών αναγκών σε N. Αντίθετα τα φυτά στα οποία παρεχόταν συνεχώς θρεπτικό διάλυμα με 100% N έδωσαν τις χαμηλότερες ποσότητες βιολογικά δεσμευμένου N ανεξάρτητα από τον εμβολιασμό με ριζόβια. Αυτό υποδηλώνει ότι η μείωση της χρήσης ανόργανου N στα παραπάνω επίπεδα οδηγεί σε αύξηση της βιολογικής αζωτοδέσμευσης. Παράλληλα, συγκρίνοντας τις τιμές αυτές με αυτές που καταγράφηκαν από τον Akter κ.ά. (2014) και Kontopoulou κ.α. (2015) για το *Phaseolous vulgaris* (~ 30-50 kg N ha<sup>-1</sup>), συμπεραίνεται πως το αμπελοφάσουλο έχει εντονότερη αζωτοδεσμευτική ικανότητα από το



κοινό φασόλι. Επιπλέον, ο εμβολιασμός των φυτών είτε μόνο με το *Ensifer* spp. είτε με *Ensifer* spp. σε συνδυασμό με *Bradyrhizobium* spp. φαίνεται να συμβάλει στην αύξηση της αζωτοδεσμευτικής ικανότητας, ανεξάρτητα από τις μεταχειρίσεις με διαφορετικά επίπεδα N. Τα φυτά στα οποία χορηγήθηκε επαρκές ανόργανο N δεν επωφελήθηκαν από τον εμβολιασμό όσο αφορά την παραγωγή, γεγονός που έχει παρατηρηθεί και σε προηγούμενες μελέτες (Vargas κ.ά., 2000). Επιπλέον, ο εμβολιασμός με ριζόβια δεν επηρέασε την συγκέντρωση θρεπτικών συστατικών στον βλαστό. Επιπλέον, τα φυτά στα οποία χορηγήθηκε N που ανταποκρινόταν στο 60% των ολικών αναγκών του φυτού τις 4 πρώτες εβδομάδες και 30% έως το τέλος της καλλιεργητικής περιόδου, εμφάνισαν μεγαλύτερη παραγωγή σε λοβούς από τα φυτά στα οποία διακόπηκε η εφαρμογή ανόργανου N μετά τις πρώτες 4 εβδομάδες καλλιέργειας. Συμπερασματικά φαίνεται πως η ήπια μείωση του ανόργανου N πριν και μετά τον σχηματισμό φυματίων θεωρείται πιο αποτελεσματική πρακτική για την μείωση των εξωτερικών εισροών N χωρίς να επηρεάζεται η απόδοση παραγωγής της υδροπονικής καλλιέργειας αμπελοφάσουλου σε αδρανή υποστρώματα.

Παράλληλα, υψηλά επίπεδα ανόργανου N στη ριζόσφαιρα εμποδίζει το σχηματισμό φυματίων στα λαχανοκομικά φυτά (Gan et al., 2004; Li et al., 2009). Στην παρούσα μελέτη, επιβεβαιώνεται το προηγούμενο πόρισμα του Gan, καθώς και το συνολικό και το μέσο νωπό βάρος φυματίων στις ρίζες ήταν σημαντικά μικρότερο όταν παρεχόταν πλήρες άζωτο. Σε αντίθεση, η μείωση του N σε 60% στο βλαστητικό στάδιο κι έπειτα σε 0% ενίσχυσαν το μέσο και το συνολικό βάρος φυματίων ανά νωπό βάρος ρίζας συγκριτικά με την εφαρμογή πλήρους λίπανσης αζώτου 100%.

Η παρούσα μελέτη επίσης παρουσιάζει ότι μια ήπια μείωση ανόργανου N στο 60% της πλήρους λίπανσης κατά τον αρχικό σχηματισμό φυματίων ακολουθούμενη από πλήρη μείωση σε ανόργανο N, μείωσε τις ριζόβιες αποικίες, όπως υποδηλώνεται από το μικρότερο αριθμό φυματίων ανά φυτό, συγκριτικά με τις επεμβάσεις όπου υπήρχε παροχή πλήρους αζώτου. Κατά τον Müller et al. (1993) όταν στα αρχικά στάδια ανάπτυξης δεν παρέχεται επαρκές ανόργανο N και μειώνονται οι επιτυχημένες αποικίες αζωτοβακτηρίων, τα φυτά φαίνονται να ανταποκρίνονται αυξάνοντας το μέγεθος των φυματίων στη διάρκεια της ζωής του για να αντιμετωπίσουν την υψηλή απαίτηση του μεταβολισμού τους σε άζωτο.

Παρομοίως, οι συγκεντρώσεις του καλίου στο βλαστό της βίγνας υπό την επίδραση 0% αζώτου από το βλαστητικό στάδιο μέχρι το τέλος της καλλιεργητικής περιόδου, ήταν σημαντικά χαμηλότερα συγκριτικά με αυτές που μεταχειρίστηκαν με 100% N. Παρόλα αυτά, οι συγκεντρώσεις του μαγνησίου και του ψευδαργύρου παρόλο που ήταν σημαντικά μειωμένα από την έλλειψη ανόργανου αζώτου, δεν έπεσαν κάτω από τις κρίσιμες τιμές, γεγονός που υποδηλώνει ότι η ανάπτυξη υπό αυτήν την επίδραση, επηρεάστηκε μόνο από την μειωμένη πρόσληψη καλίου.

Παρόλα αυτά, οι συγκεντρώσεις του καλίου και του μαγνησίου βρέθηκαν σε επαρκή επίπεδα. Παρομοίως, οι συγκεντρώσεις μαγανίου και ψευδαργύρου στα φύλλα παρόλο που ήταν σημαντικά μειωμένες από την έλλειψη ανόργανου αζώτου, δεν έπεσαν κάτω από τις κρίσιμες τιμές, (Mills and Jones, 1996). Τα αποτελέσματα αυτά υποδεικνύουν ότι η

ανάπτυξη της βίγνας υπό πλήρη στέρηση N επηρεάστηκε κυρίως από την μειωμένη πρόσληψη καλίου.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ VIII

### 8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

#### 8.1 ΕΛΛΗΝΙΚΗ

1. Δαλιάνης Κ., 1983, Ψυχανθή για καρπό και σανό, Εκδόσεις Σταμούλης Α., Αθήνα
2. Βογιατζής, Κουκουρικού- Πετρίδου, 2003 Forde and Clarson 1999
3. Ολύμπιος Χ., 2015, Η Τεχνική της Καλλιέργειας των Υπαίθριων Κηπευτικών, Εκδόσεις Σταμούλη, Αθήνα
4. Ολύμπιος Χ (2001). Η τεχνική της καλλιέργειας των κηπευτικών στα θερμοκήπια. Εκδόσεις Σταμούλη, Αθήνα.
5. Παπακώστα- Τασοπούλου Δ., 2005, Ψυχανθή: Καρποδοτικά - Χορτοδοτικά, Εκδόσεις Σύγχρονη Παιδεία, Θεσσαλονίκη
6. Σάββας & Πάσσαμ, 2002, Hydroponic Production of Vegetables and Ornamentals, Embryo publications.
7. Σάββας Δ. (2012) Καλλιέργειες εκτός Εδάφους: Υδροπονία, Υποστρώματα. Εκδόσεις Αγρότυπος. Αθήνα
8. Σάββας Δ. (2012) Εξοπλισμός εγκαταστάσεων για καλλιέργειες εκτός εδάφους: Υδροπονία, Υποστρώματα. Εκδόσεις Αγρότυπος. Αθήνα.
9. Σαρλής Γ, 1999, Συστηματική Βοτανική, Εκδόσεις Σταμούλης Α., Αθήνα

#### 8.2 ΞΕΝΗ

1. Aguilar, O.M., López, M.V. and Riccillo, P.M. 2001. The diversity of rhizobia nodulating beans in Northwest Argentina as a source of more efficient inoculant strains. J. Biotechn. 91: 181-188.
2. Akter, Z., Pageni, B.B., Lupwayi, N.Z. and Balasubramanian, P.M. 2014. Biological nitrogen fixation and nifH gene expression in dry beans (*Phaseolus vulgaris* L.). Can. J. Plant Sci. 94: 203-212.
3. Dilis V., Trichopoulou A. (2009), Nutritional and health properties of pulses, Mediterranean Journal of Nutrition and Metabolism, 1(3), 149-157.
4. Ehlers J.D, Hall A.E., Cowpea, Field Crops Research, Volume 53, Issues 1–3, July 1997, Pages 187-204
5. Fery R.L., (1990, The cowpea: production, utilization, and research in the United States. Hort Rev 12:197–222
6. Gan, Y., Stulen, I., van Keulen, H., Kuiper, P.J.C. (2004) Low concentrations of nitrate and ammonium stimulate nodulation and N<sub>2</sub> fixation while inhibiting specific nodulation (nodule DW g<sup>-1</sup> root dry weight) and specific N<sub>2</sub> fixation (N<sub>2</sub> fixed g<sup>-1</sup> root dry weight) in soybean. Plant Soil 258, 281–292. <https://link.springer.com/article/10.1023/B:PLSO.0000016558.32575.17>
7. Hall AE (2004) Breeding for adaptation to drought and heat in cowpea. Eur J Agron 21:447–454
8. Hall A.E., 2004, Breeding for adaptation to drought and heat in cowpea. Eur J Agron 21:447–454
9. Hall A.E., Cisse N., Thiaw S., Elawad H.O.A., Ehlers J.D., ,2003, Development of cowpea cultivars and germplasm by the Bean/Cowpea CRSP. Field Crops Res 82:103–134
10. Hall A.E., Ismail A.M., Ehlers J.D., Marfo K.O., Cisse N., 2002. Breeding cowpeas for tolerance to temperature extremes and adaptation to drought. In: Fatokun CA

11. Karapanos, I., Papandreou, A., Skouloudi, M., Makrogianni, D., Fernández, J.A., Rosa, E., Ntatsi, G., Bebeli, P.J. and Savvas, D. 2017. Cowpea fresh pods – a new legume for the market: assessment of their quality and dietary characteristics of 37 cowpea accessions grown in southern Europe. *J. Sci. Food Agric.* 97 (13): 4343-4352
12. Kontopoulou, C.K., Giagkou, S., Stathi, E., Iannetta, P.P. and Savvas, D. 2015. Responses of hydroponically grown common bean fed with nitrogen-free nutrient solution to root inoculation with N<sub>2</sub>-fixing bacteria. *HortSci.* 50: 1–6.
13. Kontopoulou, C.K., Liasis, E., Iannetta, P. P., Tampakaki, A. and Savvas, D., 2017. Impact of rhizobial inoculation and reduced N supply on biomass production and biological N<sub>2</sub> fixation in common bean grown hydroponically. *J. Sci. Food Agric.* 97(13): 4353-4361
14. Kochhar, N., Walker, A. F., & Pike, D. J. (1988). Effect of variety on protein content, amino acid composition and trypsin inhibitor activity of cowpeas. *Food chemistry*, 29(1), 65-78.
15. Kwapata M.B., Hall A.E., 1985, Effects of moisture regime and phosphorus on mycorrhizal infection, nutrient uptake, and growth of cowpeas *Vigna unguiculata* (L.) Walp.]. *Field Crops Res* 12:241–250
16. Mwanamwenge J., Loss S., Siddique K., Cocks P. S., 1998, Growth seed yield and water use of faba bean (*Vicia faba* L) in a short-season Mediterranean-type environment, *Australian Journal of Experimental Agriculture* 38(2):171-180.
17. Nielsen, S.S., Brandt, W.E., Singh, B.B. (1993). Genetic variability for nutritional composition and cooking time of improved cowpea lines. *Crop Sci.*, 33, pp. 469–472
18. Nielsen S.S., Ohler T.A., Mitchell C.A., 1997, Cowpea leaves for human consumption: production, utilization, and nutrient composition.
19. Ng N.Q., Marechal R., 1985. Cowpea taxonomy, origin and germ plasm. In: Singh SR, Rachie KO (eds) *Cowpea research, production and utilization*, John Wiley and Sons Ltd., NY, pp. 11–21
20. Nwokolo E. and Ilechukwu S.N., 1996, *Food and Feed from Legumes and Oilseeds* Springer; 1996 edition (December 6, 2012)
21. Owolabi, A. O., Ndidi, U. S., James, B. D., & Amune, F. A. (2012). Proximate, antinutrient and mineral composition of five varieties (improved and local) of cowpea, *Vigna unguiculata*, commonly consumed in samaru community, Zaria-Nigeria. *Asian Journal of Food Science and Technology*, 4(2), 70-72.
22. Padulosi, S (1993), “Genetic diversity, taxonomy and ecogeographic survey of the wild relatives of cowpea (*Vigna unguiculata* l. Walpers)”, PhD thesis Univ. Catho. De Louvain, Belgium.
23. Singh B.B., 2002, Recent genetic studies in cowpea. In: Fatokun CA, Tarawali SA
24. Singh B.B., Kormawa PM, Tamo M (eds) *Challenges and Opportunities for Enhancing Sustainable Cowpea Production*. Intl Inst Tropical Agric, Ibadan, Nigeria, pp. 3–13
25. Singh B.B. (2005) Cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) Walp. In: Singh RJ, Jauhar PP (eds) *Genetic Resources, Chromosome Engineering and Crop Improvement*. Volume 1, CRC Press, Boca Raton, FL, USA, pp. 117–162
26. Singh B.B., Ehlers J.D., Sharma B., Freire Filho F.R., 2002, Recent progress in cowpea breeding. In: : Fatokun CA, Tarawali SA, Singh BB, Kormawa PM, M Tamo (eds) *Challenges and Opportunities for Enhancing Sustainable Cowpea Production*. Intl Inst Tropical Agric, Ibadan, Nigeria, pp. 22–40

27. Singh B.B., Mohan Raj, Daskiell K.E. and Jackai L.E.N., 1997, Advances in cowpea research. Copublication of International Institute of Tropical Agriculture (IITA) and Japan International Research Center for Agricultural Sciences (JIRCAS). IITA, Ibadan, Nigeria
28. Singh B.B., Tarawali S.A., 1997, Cowpea and its improvement: key to sustainable mixed crop/livestock farming systems in West Africa. In: Renard C (ed) Crop Residues in Sustainable Mixed Crop/Livestock Farming Systems, CAB in Association with ICRISAT and ILRI, Wallingford, UK, pp. 79–100
29. Summerfield, R.J., P.A. Huxley, and W.M. Steele, 1974, Cowpea (*Vigna unguiculata* [L.] Walp.), Field Crop Abstracts 27: 301-312.
30. Tarawali S.A., Singh B.B., Gupta S.C., Tabo R., Harris F., 2002 Cowpea as a key factor for a new approach to integrated crop–livestock systems research in the dry savannas of West Africa. In: Fatokun CA, Tarawali SA, Singh BB, Kormawa PM, M Tamo (eds) Challenges and Opportunities for Enhancing Sustainable Cowpea Production. Intl Inst Tropical Agric, Ibadan, Nigeria, pp. 233–251
31. Tarawali S.A., Singh B.B., Peters M., Blade S.F., 1997, Cowpea haulms as fodder. In: Singh BB, Mohan Raj DR, Dashiell KE, Jackai LEN (eds) Advances in Cowpea Research. Copublication Intl Inst Tropical Agric (IITA) and Japan Intl Res Center Agric Sci (JIRCAS). Sayce, Devon, UK, pp. 313–325
32. Thies, J.E., Singleton, P.W., Bohlool, B.B. (1991) Influence of the size of indigenous rhizobial populations on establishment and symbiotic performance of introduced rhizobia on field-grown legumes. Applied and Environmental Microbiology 57, 19-28. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC182659/>
33. Timko Michael., Ehlers Jeff D., Roberts Philip A., 2007, Genome Mapping and Molecular Breeding in Plants, Volume 3 Pulses, Sugar and Tuber Crops C. Kole (Ed.) Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
34. Wien, H.C., and R.J. Summerfield, 1980, Adaptation of cow peas in West Africa: effects of photoperiod and temperature responses in cultivars of diverse origin, Pages 405-417 in Advances in legume science, edited by R.I. Summerfield and A.H. Bunting. HMSO, London, UK.

### 8.3 INTEPNET

1. <http://aswenna.com/Cowpea.html>
2. [genebank.iita.org](http://genebank.iita.org)
3. Agricultural Research Service Plant, Soil and Nutrition Laboratory στην Νέα Υόρκη -[http://www.ars.usda.gov/main/site\\_main.htm?modecode=19-07-05-05](http://www.ars.usda.gov/main/site_main.htm?modecode=19-07-05-05)
4. OECD (2016), Safety Assessment of Transgenic Organisms in the Environment, Volume 6: OECD Consensus Documents, Harmonisation of Regulatory Oversight in Biotechnology, OECD Publishing, Paris
5. Yu Takahashi<sup>1</sup>, Prakrit Somta<sup>2</sup>, Chiaki Muto<sup>1</sup>, Kohtaro Iseki<sup>1</sup>, Ken Naito<sup>1</sup>, Muthaiyan Pandiyan<sup>3</sup>, Senthil Natesan<sup>3</sup>, Norihiko Tomooka<sup>1</sup>, Novel Genetic Resources in the Genus *Vigna* Unveiled from Gene Bank Accessions, 2016, Vijai Gupta, National University of Ireland - Galway, IRELAND
6. Παλάτος Γ. Α., Κυρκενίδης Ι., 2006, Εργαστηριακές σημειώσεις, Χειμερινά σιτηρά και ψυχανθή, εκδ. ΑΤΕΙΘ, Θεσσαλονίκη